

**CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA, CARACTERIZACIÓN Y CÁLCULO DE RECURSOS
DE CARBÓN DEL TÍTULO MINERO EK7-151, MUNICIPIO DE LANDÁZURI-
SANTANDER**

LUCIA CAROLINA VALLE DAZA

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO**

2018

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO
GEÓLOGO**

LUCIA CAROLINA VALLE DAZA

DIRECTOR:

WILSON ENARIO NARANJO

INGENIERO GEÓLOGO

CODIRECTOR:

MIGUEL ORLANDO JARAMILLO

GEÓLOGO

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO

ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

SOGAMOSO

2018



Sogamoso, Agosto 14 de 2018

Señores:

**COMITÉ DE CURRÍCULO
ESCUELA INGENIERÍA GEOLÓGICA
SEDE SECCIONAL SOGAMOSO U.P.T.C**

Cordial saludo.

Por medio de la presente yo, **LUCIA CAROLINA VALLE DAZA** estudiante en terminación académica, me dirijo a ustedes para hacer entrega oficial del trabajo de investigación, para optar al título de Ingeniero Geólogo, denominado: **CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA, CARACTERIZACIÓN Y CÁLCULO DE RECURSOS DE CARBÓN DEL TÍTULO MINERO EK7-151, MUNICIPIO DE LANDÁZURI-SANTANDER.**

Agradezco su atención.

Atentamente

Lucia Valle D.

LUCIA CAROLINA VALLE DAZA

COD. 201210201

Sogamoso, Agosto 14 de 2018

Señores:

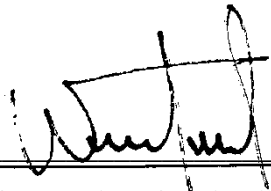
**COMITÉ DE CURRÍCULO
ESCUELA INGENIERÍA GEOLÓGICA
SEDE SECCIONAL SOGAMOSO U.P.T.C**

Cordial saludo.

Por medio de la presente yo, **WILSON ENARIO NARANJO**, me dirijo a ustedes para manifestar mi conocimiento y aprobación del trabajo de investigación denominado: **CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA, CARACTERIZACIÓN Y CÁLCULO DE RECURSOS DE CARBÓN DEL TÍTULO MINERO EK7-151, MUNICIPIO DE LANDÁZURI- SANTANDER**, realizado por la estudiante **LUCIA CAROLINA VALLE DAZA** y presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Geólogo.

Agradezco su atención.

Atentamente



**WILSON ENARIO NARANJO
DIRECTOR DEL PROYECTO**



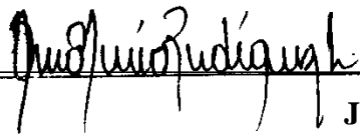
Uptc

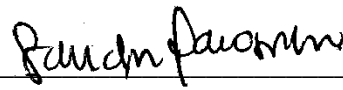
Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia



NOTA DE ACEPTACIÓN

PRESIDENTE DEL JURADO


JURADO


JURADO

RESUMEN

El título minero EK7-151 se encuentra localizado en el municipio de Landázuri-Santander, en donde afloran mantos de carbón de interés dentro de la formación Umir; la cual cuenta con una potencia de 972m, compuestos principalmente por arcillolitas y limolitas ocasionalmente ferruginosas, en capas predominantemente tabulares con una mayor presencia de areniscas muy finas hacia el techo, destacándose 50m de areniscas muy finas hacia la parte media de la formación denominada capa guía 'La Despensa'. El área se encuentra afectada por el sistema de fallas La Salina, colocando en contacto unidades del Terciario y Neógeno con unidades del Cretáceo. Los mantos encontrados son de rango semiantracita, bituminosos bajo volátiles, bituminosos medio volátiles y bituminosos alto volátiles A, de acuerdo a la clasificación ASTM; con un total de 2'576.840,04 Ton de recursos medidos de carbón, 13'481.180,04 Ton de recursos indicados, 67'411.457,11 Ton de recursos inferidos y 50'394.080,36 Ton de hipotéticos, para un total de 133'863.557,55 Toneladas. Esta podría tratarse de una de las nuevas áreas de interés para el carbón coquizable en el país, debido al gran potencial aquí encontrado.

Palabras claves: carbón, geología, Landázuri, Santander, Umir,

ABSTRACT

The mining title EK7-151 is located in the municipality of Landázuri-Santander, in which layers of coal of interest appear within the Umir formation; which has a thickness of 972m composed mainly of claystones and siltstone, occasionally ferruginous in predominantly tabular layers with a greater presence of very fine sandstones towards the top, highlighting 50m of very fine sandstones toward the middle part of the formation called 'La Despensa' guide layer. The area is affected by the La Salina fault system, placing Tertiary and Neogene units in contact with Cretaceous units. The found coal layers are of semi-anthracite, low-volatile bituminous, médium-volatile bituminous and high-volatile bituminous ranges according to the ASTM classification; with a total of 2'576,840.04 Ton of measured coal resources, 13'481,180.04 Ton of indicated resources, 67'411,457.11 Ton of inferred resources and 50'394,080.36 Ton of hypotheticals, for a total of 133 '863,557.55 Tons. This could be a new area of interest for coking coal in the country, due to the great potential found here.

Key words: coal, geology, Landázuri, Santander, Umir,



Uptc

Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia



DEDICATORIA

A Dios gracias por su gran amor y permitir cumplir mis metas

A mis padres, Harold y Cira, por su incondicional apoyo, ejemplo y dedicación

*A mis hermanos, Juan José y Maria Daniela, que a pesar de la distancia siempre sentí su amor y
compañía.*

*A mis familiares y amigos por estar a mi lado, acompañándome y alentándome a seguir
adelante.*

Lucia Carolina.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia seccional Sogamoso, cuerpo docente y personal administrativo, por ser portadores de conocimientos y valores.

Al Ingeniero Wilson Naranjo, por depositar su confianza en mí, su apoyo y acompañamiento en el desarrollo de este trabajo.

Al Geólogo Miguel Jaramillo por transmitir sus conocimientos de la mejor manera, por su motivación y ejemplo de amor a la geología.

A la empresa Operadora Minera Andina SAS por apoyar el desarrollo de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	6
ABSTRACT.....	7
INTRODUCCIÓN	16
OBJETIVOS.....	17
OBJETIVO GENERAL	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
GENERALIDADES	18
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.....	18
VÍAS DE COMUNICACIÓN	19
CLIMA Y VEGETACIÓN	21
HIDROGRAFÍA	22
METODOLOGÍA.....	26
Cartografía geológica	26
FASE 1. Recopilación de información existente.....	26
FASE 2. Interpretación de fotografías aéreas	29
FASE 3. Recopilación de información en campo.....	30
FASE 4. Construcción de base de datos en un SIG	32
FASE 5. Reinterpretación de la información de campo	33
Caracterización de carbones	34
Evaluación de recursos	34
GEOLOGÍA	35
ESTRATIGRAFÍA.....	35
Unidades del Cretácico.....	36
	10

UNIDADES DEL TERCIARIO.....	45
UNIDADES INCONSOLIDADAS DEL NEÓGENO Grupo Real (Tmr) (N1).....	51
DEPÓSITOS CUATERNARIOS.....	52
Cuaternario aluvial (Qal)	52
CONTEXTO REGIONAL.....	54
Provincia cordillerana (I):	55
Provincia piedemonte occidental de la Cordillera Oriental (II):	55
GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	56
PLIEGUES	56
FALLAS	57
MUESTREO Y ANÁLISIS DE CARBÓN	60
Muestreo de carbón	60
Parámetros de calidad y clasificación de carbones	61
Análisis inmediato.....	61
Análisis elemental	64
Poder calorífico.....	65
Propiedades físicas y mecánicas.....	65
Índice de hinchamiento y aglomeración	65
Caracterización de carbón	67
EVALUACIÓN DE RECURSOS	71
Categorías de los recursos.....	71
Cálculo de recursos.....	72
CONCLUSIONES.....	78
RECOMENDACIONES.....	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80

ANEXOS	82
---------------------	-----------

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización geográfica del área de estudio, Landázuri-Santander. Tomado de: Google earth, Agosto de 2018.	18
Ilustración 2. Vía de comunicación a Landázuri – Santander, desde Bogotá. Tomado de: Google Maps, Julio 2018.	19
Ilustración 3. Vías de comunicación desde el título EK7-151 hacia puertos en el Caribe. Tomado de: Google Maps.....	20
Ilustración 4. Patrones de drenaje en el área de estudio. Fuente:Autor	25
Ilustración 5. Plancha 150ID. Fuente: IGAC.....	26
Ilustración 6. Registros eléctricos del pozo Landázuri 1. Fuente: SGC, noviembre del 2016. ..	28
Ilustración 7. Línea sísmica AM-OP-95-08. Fuente: Ecopetrol	28
Ilustración 8. Línea sísmica SQL-2003-0650. Fuente: Ecopetrol.....	28
Ilustración 9. Clasificación textural de Folk 1970 (De Castro, 1988)	32
Ilustración 10. Columna Estratigráfica Generalizada de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena. Modificado de ECOPETROL (2000).....	35
Ilustración 11. Columna estratigráfica de la formación Umir. Fuente: Autor.	44
Ilustración 12. Mapa estructural del área. Fuente: Autor.	55
Ilustración 13. Geología del área, y traza de los mantos evaluados. Fuente: Autor	73

LISTA DE FOTOS

Foto 1. Puente metálico que da acceso al área del título minero. Fuente: Google Earth, Julio 2018.	20
Foto 2. Vegetación presente en la zona de estudio. Fuente: Autor.	21
Foto 3. Río Guayabito. Fuente: autor.	23
Foto 4. Quebrada La Balsuna. Fuente: Autor.	23
Foto 5. Quebrada La Álvarez. Fuente: Autor.	24
Foto 6. Fotografía aérea del vuelo C-2581 N°31. Fuente: IGAC	27
Foto 7. Fotografía aérea del vuelo C-2581 N°32. Fuente: IGAC.	27
Foto 9. Fotografía aérea del vuelo C-2581 N°66. Fuente: IGAC	27
Foto 8. Fotografía aérea del vuelo C-2581 N°67. Fuente: IGAC	27
Foto 10. Anaglifo generado con fotografías aéreas del vuelo C-2581. Fuente: Autor.	29
Foto 11. Pliegues tipo chevron en zonas de fallamiento. Fuente: Autor.	33
Foto 12. Calizas fosfáticas con presencia de foraminíferos, parte superior de la formación La Luna. Fuente: Autor.	38
Foto 13. Intercalación de arcillolitas fisiles negras y capas delgadas de limolitas ferruginosas, resaltando la presencia de estructura boudinage o 'amorcillamiento'. Fuente: Autor.	39
Foto 14. Intercalación de limolitas (lim) y arcillolitas (arc) grises con presencia de mantos de carbón (c), techo del miembro 2 de la formación Umir. Fuente: Autor.	40
Foto 15. Geometría cuneiforme en capas de areniscas del miembro 3 de la formación Umir Fuente: Autor.	41
Foto 16. Arenisca de grano muy fino en capas medias a gruesas de la parte media de la formación Umir. Fuente: Autor.	41
Foto 17. Manto de carbón en la parte superior de la formación Umir. Fuente: Autor.	42
Foto 18. Arcillolitas abigarradas presentes en la parte superior de la formación Umir. Fuente: Autor.	43
Foto 19. Areniscas de la formación Lisama. Fuente: Autor	46
Foto 20. Afloramiento de areniscas de la Formación Colorado. Fuente: Autor	50



Uptc

Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia

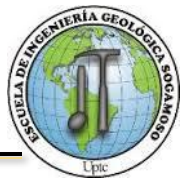


Foto 21. Areniscas del Grupo Real.Fuente: Google Earth, Julio de 2018.....	52
Foto 22. Cuaternario aluvial en el río Guayabito. Fuente: Google Earth, Julio de 2018.....	53
Foto 23. Falla La Salina, que pone en contacto la Formación Umir con la Formación Mugrosa. Fuente: Autor.	58
Foto 24. Falla La salina 2. Fuente: Autor.....	59

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del tamaño de grano de sedimentos terrígenos de Udden-Wentworth (De Wentworth, 1992)	30
Tabla 2. Tipos de laminación y estratificación según Ricci Luchi (1970) y según Campbell (1967).	31
Tabla 3. Carta de estimación visual de porcentaje (De Castro, 1988)	31
Tabla 4. Ubicación de las muestras de carbón tomadas y su espesor. Fuente: Autor.....	60
Tabla 5. Resultados de análisis realizados a las muestras de carbón tomadas. Fuente: Autor....	66
Tabla 6. Clasificación ASTM de carbones por rango (De Baez J, 2003).	68
Tabla 7. Clasificación ASTM de las muestras de carbón. Fuente: Autor.	69
Tabla 8. Mantos en el área de estudio tenidos en cuenta para el cálculo de recursos. Fuente: Autor.	74
Tabla 9. Cálculo de recursos para los mantos de carbón en el título EK7-151. Fuente: Autor ..	75
Tabla 10. Recursos de carbón por rango. Fuente: Autor.....	77
Tabla 11. Recursos totales de carbón. Fuente: Autor.	77

INTRODUCCIÓN

El título EK7-151, se encuentra localizado en las veredas San Fernando, Los Balsos y Cerro de Armas del municipio de Landázuri-Santander y cuenta con un área de 1842,9207 Ha; en él se están llevando a cabo labores mineras sobre mantos de carbón coquizables allí presentes.

En este municipio, la minería ‘artesanal’ de carbón ha sido una tradición que no ha logrado éxito; como lo evidencian las distintas minas inactivas desde hace décadas en el municipio. Esto es debido probablemente a la complejidad geológica de la zona y ausencia de estudios geológicos a detalle, dando una probabilidad alta de fracaso para trabajos mineros improvisados.

Con la finalidad de direccionar trabajos mineros, es necesario conocer a detalle la geología y el potencial que el área ofrece. Es por esto imprescindible éste estudio geológico a detalle 1:5000 desarrollado en el presente informe, interpretando datos encontrados en superficie y bajo tierra en las labores mineras desarrolladas, como uno de los principales factores a estudiar; además de una caracterización de los mantos de carbón, mediante la toma de muestras en toda el área para su análisis fisicoquímico y su posterior clasificación bajo las normas ASTM y evaluación de recursos de carbón de acuerdo al Sistema de clasificación de recursos y reservas definido en Colombia.

El carbón tiene una gran importancia en la economía nacional y teniendo en cuenta la localización geográfica más cercana a los puertos, la convierte en un área de gran interés.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar la cartografía geológica, caracterización de carbones y cálculo de recursos para el área comprendida por el título EK7-151.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información existente
- Realizar la cartografía geológica del título minero EK7-151 a escala 1:5000
- Elaborar perfiles geológicos en el área
- Realizar columna estratigráfica de la Formación Umir
- Caracterizar mantos de carbón de la formación Umir
- Calcular los recursos de carbón en el área

GENERALIDADES

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El título EK7-151 se encuentra localizado mayormente en el municipio de Landázuri, Santander en las veredas Los Balsos, San Fernando y Cerro de Armas, y en menor proporción en la vereda La Perdida del municipio de Cimitarra.

Landázuri se encuentra en el flanco occidental de la cordillera oriental, formando parte del piedemonte que sirve de límite entre el Valle Medio del Magdalena y la cordillera.

Limita territorialmente por el Norte con el Municipio de Vélez, por el Sur con el Municipio de Bolívar, y el municipio de Vélez por el Oriente y por el Occidente con el Municipio de Cimitarra, lindando físicamente con la serranía de los Yarigües. (Wikipedia, 2016)

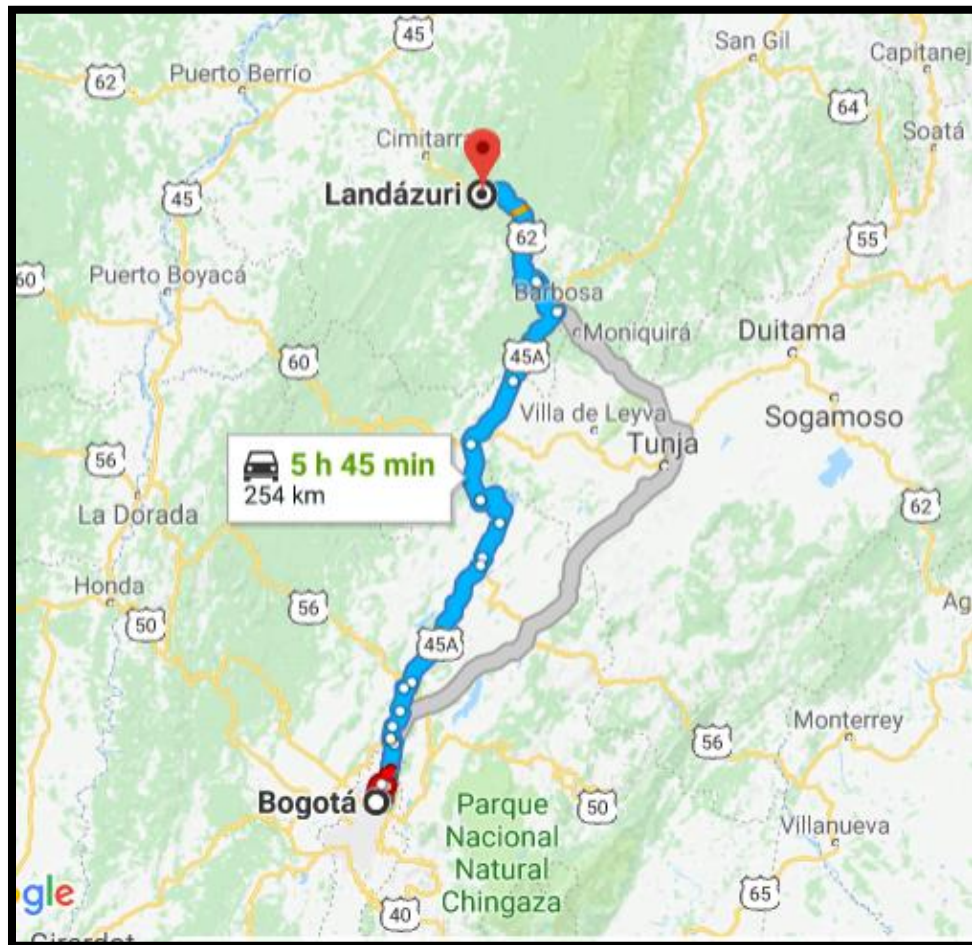


Ilustración 1. Localización geográfica del área de estudio, Landázuri-Santander. Tomado de: Google earth, Agosto de 2018.

VÍAS DE COMUNICACIÓN

El municipio de Landázuri está situado al suroeste del departamento, a 286 kilómetros de Bucaramanga por la vía de Vélez y por la troncal panamericana vía Cimitarra 240 kilómetros. (Wikipedia, 2016)

Partiendo de Bogotá, por la carretera 62, el municipio de Landázuri se encuentra a 252,9 km que representan aproximadamente 6 horas de viaje. Para llegar al título minero EK7-151, se toma la vía pavimentada angosta que conduce Landázuri-Cimitarra, la cual actualmente se encuentra en ampliación, y en el km 20 se toma el puente colgante metálico sobre el río Guayabito, a 150 m aproximadamente se ingresa al título por la vereda San Fernando.



***Ilustración 2.** Vía de comunicación a Landázuri – Santander, desde Bogotá. Tomado de: Google Maps, Julio 2018.*



Foto 1. *Puente metálico que da acceso al área del título minero. Fuente: Google Earth, Julio 2018.*

Desde esta área, hacia Santa Marta hay aproximadamente 670 Km, dando favorabilidad en cuanto a costos del transporte desde esta zona para la exportación ya sea de materia prima como de derivados del carbón.

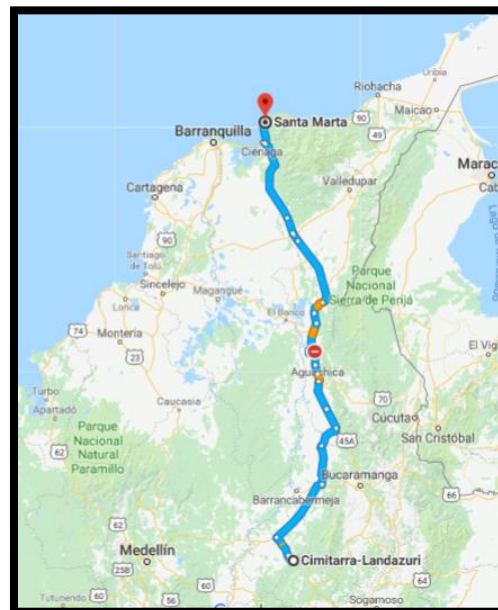


Ilustración 3. *Vías de comunicación desde el título EK7-151 hacia puertos en el Caribe. Tomado de: Google Maps.*

CLIMA Y VEGETACIÓN

En el área del título se hallan alturas que varían, entre 200 msnm en cercanías del río Guayabito, hasta 1500 msnm hacia la vereda Cerro de Armas, en el extremo Nororiente del título; el primero se manifiesta con un relieve semiplano y pendientes suaves y el segundo con un relieve típico montañoso que predomina en el municipio, factores que inciden profundamente en la variación del clima.

La temperatura promedio es de 25°C, precipitaciones medias anuales de 3000 mm y Humedad relativa del 80%. Estos datos son los promedios extraídos de los monitoreos de la estación meteorológica de Cimitarra, siendo la más cercana al municipio.

La zona tiene una alta densidad de vegetación, presenta bosques muy húmedos pre-montano y tropical. Se encuentran también abundantes cultivos de cacao, guanábana, plátano, naranja, mandarina y demás.



Foto 2. Vegetación presente en la zona de estudio. Fuente: Autor.

HIDROGRAFÍA

El departamento de Santander se encuentra surcado por una extensa red hidrográfica que fluye principalmente hacia el oeste, donde encuentra la principal arteria departamental y nacional, el río Magdalena.

Para el municipio de Landázuri, se observa gran cantidad de caños, quebradas y en menor proporción ríos como protagonistas de la variable climatológica.

Por consiguiente, los caudales que transitan por los canales de los principales ríos, incluidos sus afluentes, están controlados por el régimen de lluvias presentes en las partes altas, donde se ubican sus nacimientos, con relación al comportamiento de periodos secos (verano) y de lluvias (invierno)

La zona de estudio se encuentra dentro de la cuenca del río Carare, el cual está conformado por los ríos Guayabito, Aguas, Horta, y San Juan y las Quebradas Torova, Angustias, Arenas, Cavelina, Paciencia, Palizada y Pescado. El cauce principal tiene una longitud de 236 Km. con una cobertura de 726.300 Ha (726 Km²), de las cuales corresponden al departamento solamente 455.060 Ha.

Localmente, en el área del título en estudio, se encuentran quebradas afluentes como son la Balsuna, La Álvarez y Careperro.



Foto 3. Río Guayabito. Fuente: autor.

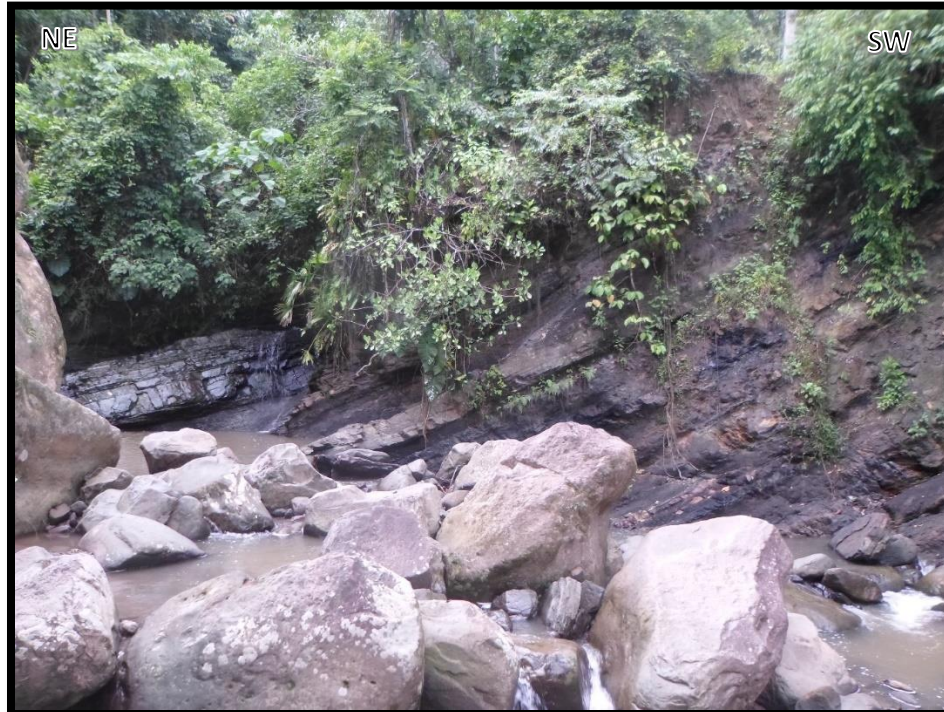


Foto 4. Quebrada La Balsuna. Fuente: Autor.



Foto 5. Quebrada La Álvarez. Fuente: Autor.

En el municipio de Landázuri, los patrones de drenajes son de tipo Dendrítico, Subdendrítico, paralelo, subparalelo y en poca proporción angular (debido a la alta presencia de fracturas); los tributarios en su mayoría son de longitudes medias a largas, cubriendo grandes extensiones en pendientes moderadas a suaves. El cubrimiento de drenaje dendrítico se da sobre zonas de material fino, haciendo que la red hídrica sea más densa. Los drenajes paralelos y subparalelos son propios de estratos bien desarrollados y con cierta inclinación o con bruscos cambios de pendiente. El río Guayabito presenta en su parte límite del municipio drenaje anastomosado, el cual se divide en numerosos brazos que se entrecruzan en diversos puntos dejando entre sí pequeños islotes de grava, arenas y limos.



Según las variables morfométricas, la subcuenca del río Guayabito se clasifica como oval oblonga a rectangular oblonga.(Alcaldía municipal de Landázuri, 2002)

METODOLOGÍA

Cartografía geológica

Para la elaboración de la cartografía geológica fue necesario llevar a cabo trabajos de campo y oficina distinguidos en las siguientes fases:

FASE 1. Recopilación de información existente

Comprende la adquisición de información ya existente sobre el área dentro del polígono de contrato de concesión EK7-151 de fuentes como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, Servicio Geológico Colombiano SGC, Ecopetrol, y el Sistema de información para el inventario, catalogación, valoración y administración de la información técnico-científica SICAT. Encontrándose la siguiente información:



Plancha topográfica N° 150ID escala 1:25000 de IGAC

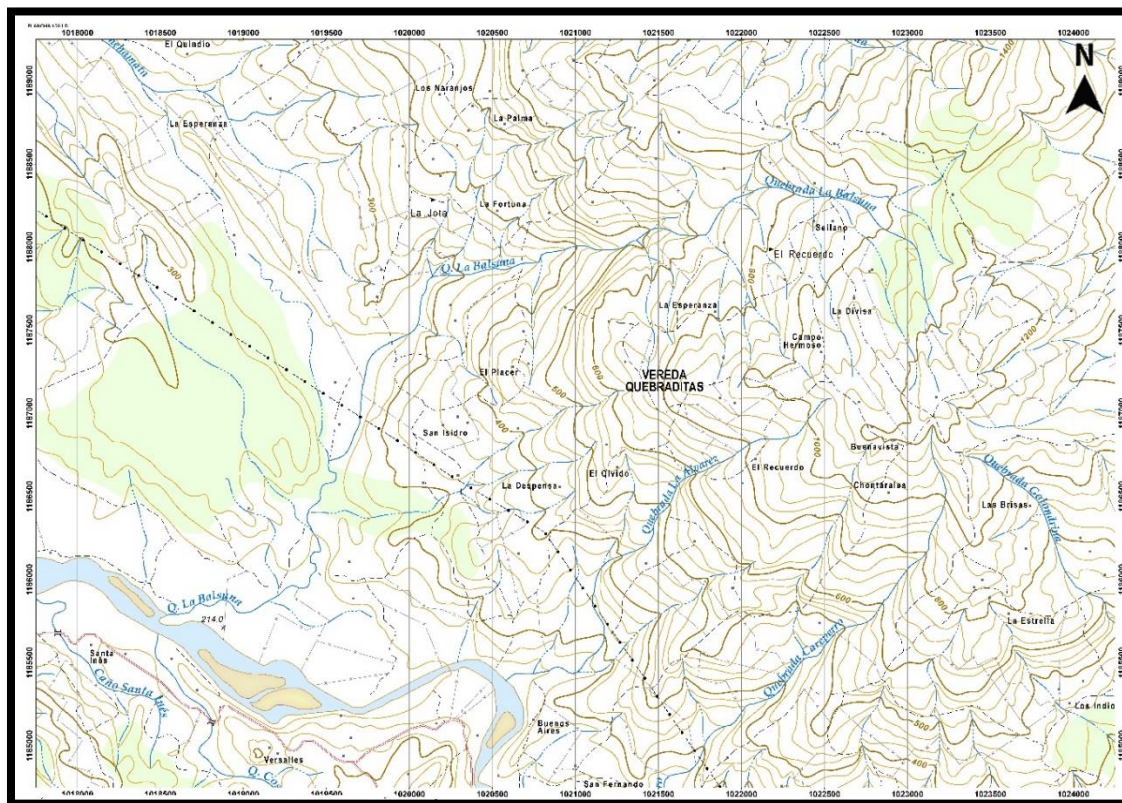


Ilustración 5. Plancha 150ID. Fuente: IGAC.



Fotografías aéreas del vuelo C-2581, números 31, 32, 66 y 67 de IGAC

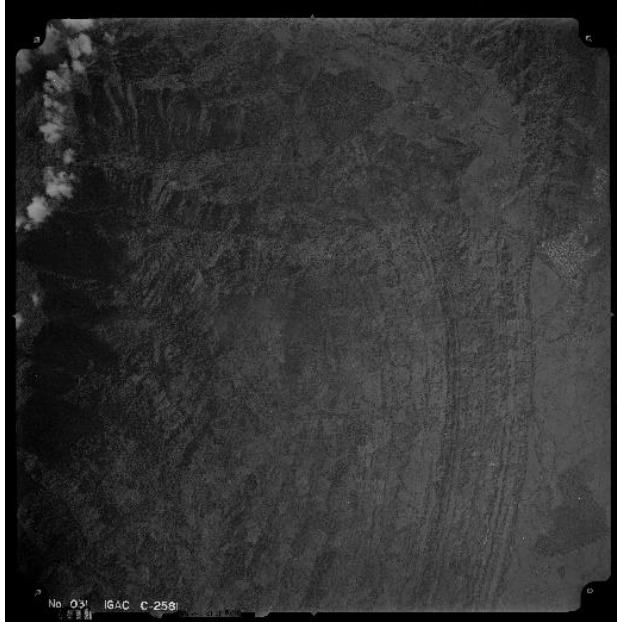


Foto 6. Fotografía aérea del vuelo C-2581
N°31. Fuente: IGAC

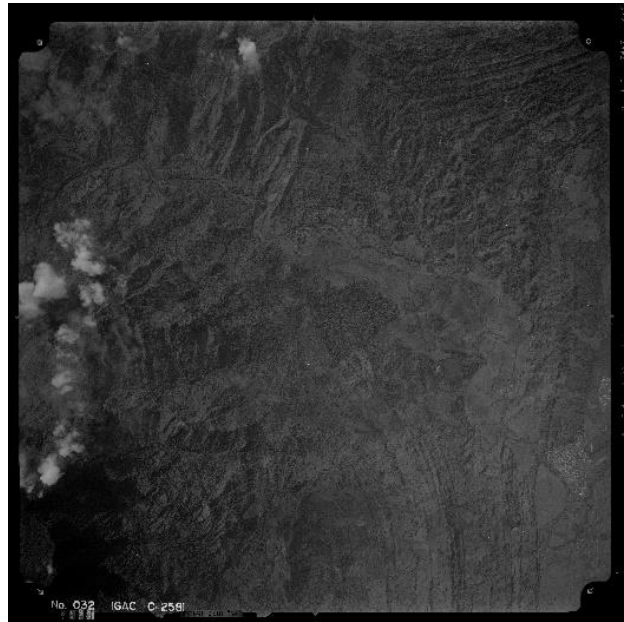


Foto 7. Fotografía aérea del vuelo C-2581
N°32. Fuente: IGAC.



Foto 8. Fotografía aérea del vuelo C-2581
N°66. Fuente: IGAC



Foto 9. Fotografía aérea del vuelo C-2581
N°67. Fuente: IGAC



Registros de rayos gamma y densidad del pozo de perforación Landázuri 1 del SGC

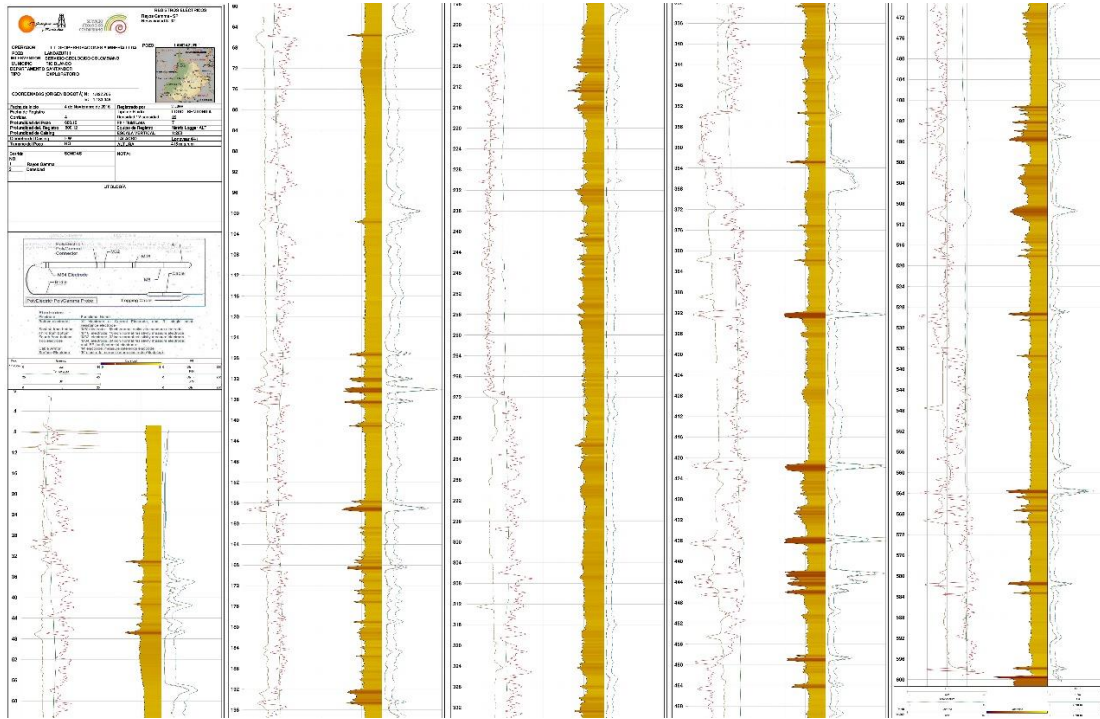


Ilustración 6. Registros eléctricos del pozo Landázuri 1. Fuente: SGC, noviembre del 2016.



Línea sísmica SQL-2003-0650 y AM-OP-95-08 de Ecopetrol

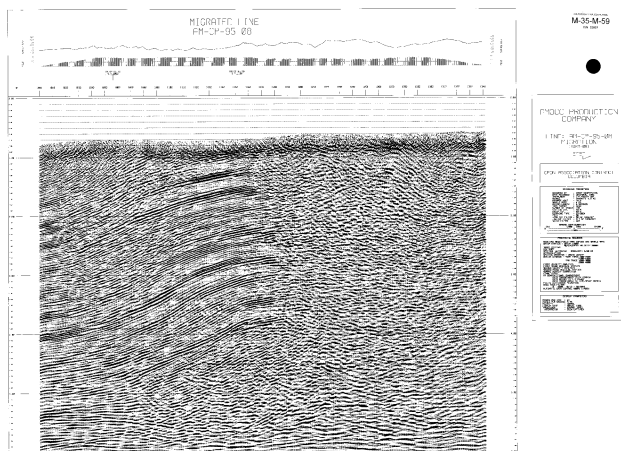


Ilustración 7. Línea sísmica AM-OP-95-08.
Fuente: Ecopetrol

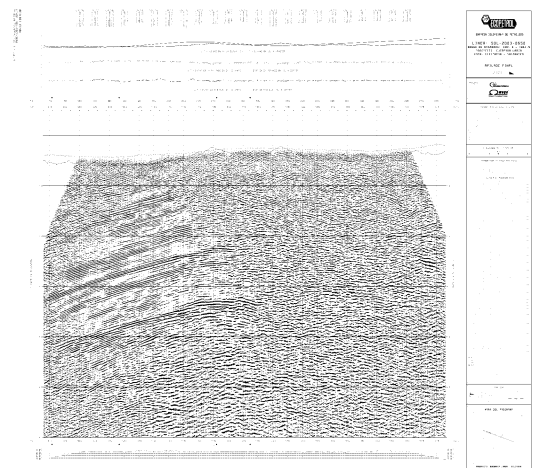


Ilustración 8. Línea sísmica SQL-2003-0650.
Fuente: Ecopetrol

- ✚ Plancha geológica del Servicio Geológico Colombiano escala 1:100.000
- ✚ Exploración y evaluación de carbones en el área Cimitarra Sur y sur del área río Opón-Landázuri del departamento de Santander, del Servicio Geológico Colombiano
- ✚ EOT Landázuri Santander

FASE 2. Interpretación de fotografías aéreas

Se hizo uso de dos pares estéreos para la fotointerpretación, gracias a las fotografías aéreas obtenidas del IGAC números 31, 32, 66 y 67 del vuelo C-2581.

También se generó un anaglifo con el fin de tener la mayor información geológica de los relieves presentes en el área gracias al efecto tridimensional que genera, y permitiendo reconocer de manera más clara las unidades geológicas evidentes.

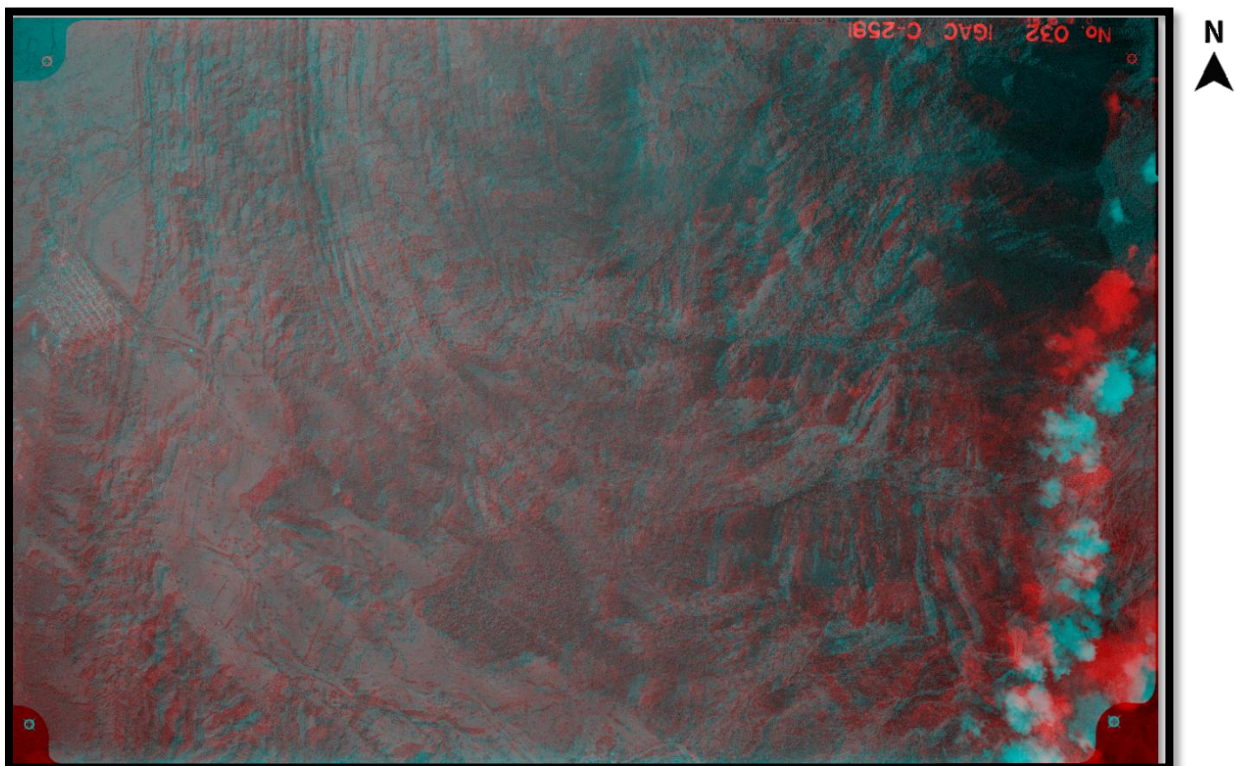


Foto 10. Anaglifo generado con fotografías aéreas del vuelo C-2581. Fuente: Autor.

FASE 3. Recopilación de información en campo

Se programaron transectas teniendo como base la fotointerpretación y tomando preferencialmente las quebradas que en esta zona tienen la cualidad de otorgar mayor cantidad y calidad de datos, ya que por la abundante vegetación característica del área y el clima tropical que provoca una rápida erosión de los afloramientos, conllevan a que raramente las rocas se encuentren expuestas.

En cada estación se tomaron datos estructurales, litológicos y estratigráficos. Para determinar la textura y composición de las rocas se utilizó:

✚ Escala granulométrica de Udden-Wentworth



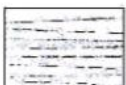

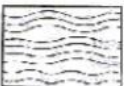







Tabla 1. Clasificación del tamaño de grano de sedimentos terrígenos de Udden-Wentworth (De Wentworth, 1992)

Millimeters (mm)	Micrometers (μm)	Phi (φ)	Wentworth size class	Rock type
4096		-12.0	Boulder	Conglomerate/ Breccia
256		-8.0	Cobble	
64		-6.0	Pebble	
4		-2.0	Granule	
2.00		-1.0	Very coarse sand	
1.00		0.0	Coarse sand	Sandstone
1/2	0.50	1.0	Medium sand	
1/4	0.25	2.0	Fine sand	
1/8	0.125	3.0	Very fine sand	
1/16	0.0625	4.0	Coarse silt	
1/32	0.031	5.0	Medium silt	Siltstone
1/64	0.0156	6.0	Fine silt	
1/128	0.0078	7.0	Very fine silt	
1/256	0.0039	8.0	Clay	Claystone
0.00006	0.06	14.0		

✚ Carta de color de La Sociedad Geológica de América

✚ Tabla de estructura sedimentaria y/o geometría de las capas según Campbell 1967 (de Reineck & Singh, 1980).

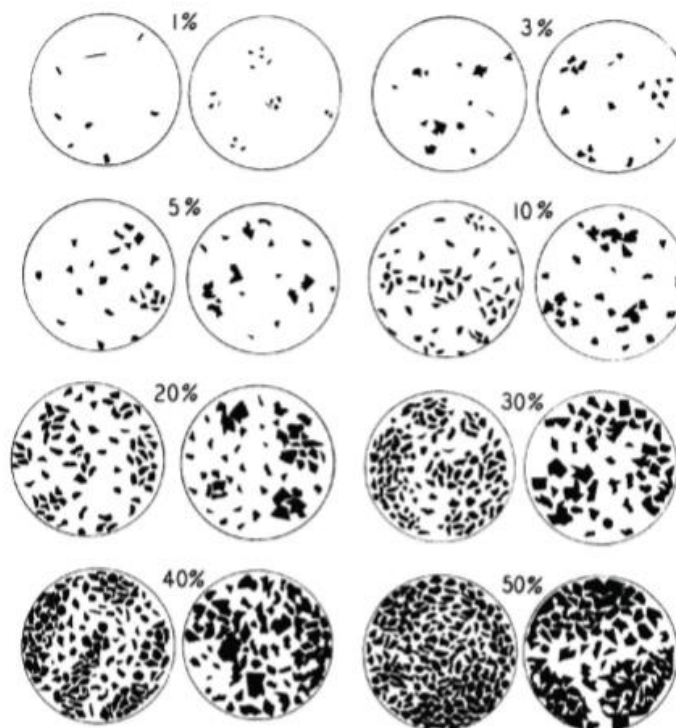
Tabla 2. Tipos de laminación y estratificación según Ricci Luchi (1970) y según Campbell (1967).

	PARALELA		NO PARALELA	
PLANA				
	Plana Paralela	Discontinua Plana Paralela	Plana No paralela	Discontinua Plana No paralela
ONDULADA				
	Ondulada Paralela	Discontinua Ondulada Paralela	Ondulada No paralela	Discontinua Ondulada No paralela
CURVADA				
	Curvada Paralela	Discontinua Curvada Paralela	Curvada No paralela	Discontinua Curvada No paralela



Carta de estimación visual de porcentaje

Tabla 3. Carta de estimación visual de porcentaje (De Castro, 1988)





Clasificación textural de Folk 1970

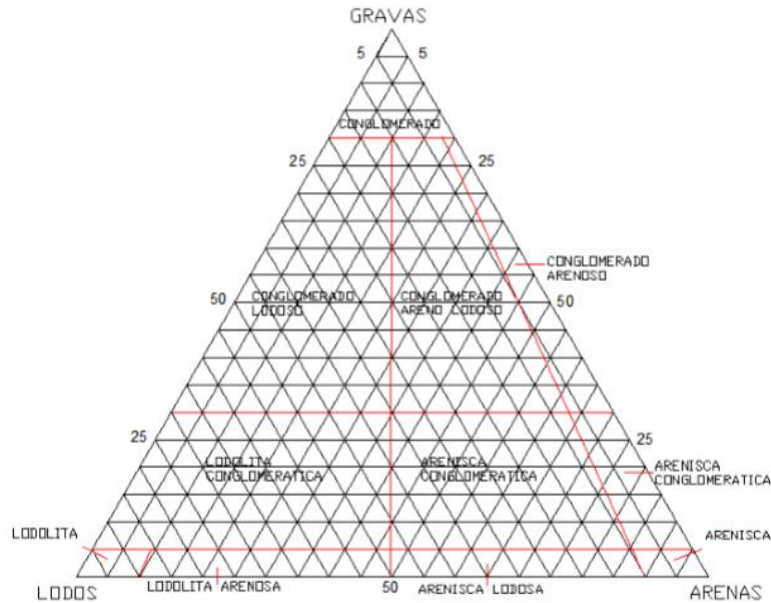


Ilustración 9. Clasificación textural de Folk 1970 (De Castro, 1988)

FASE 4. Construcción de base de datos en un SIG

En esta fase se toma la información necesaria de las planchas topográficas como curvas de nivel, drenajes, vías, caminos y sitios, la cual es vectorizada usando el software ArcGIS. También permitió la generación de un modelo digital de terreno y un ‘hillshade’ o sombras del relieve a partir de éste, con la finalidad de comprender más fácilmente las formas del relieve y evaluar su relación con los datos tomados en campo.

En general, se realizó la integración de los datos tomados en campo, su interpretación, la base topográfica y toda esta información es almacenada cada una en una capa con su respectiva tabla de atributos.

Para la presentación de la geología del área se hizo uso de los estándares de presentación cartográfica para escala 1:5000 (Instituto Colombiano de Geología y Minería, 2004)

FASE 5. Reinterpretación de la información de campo

Luego de tener un modelo geológico preliminar, se procede a la elaboración de perfiles geológicos para así corroborar la coherencia de lo planteado, de igual manera fue programado el muestreo de carbones con este mismo fin y además para caracterizarlos y tener más información de este recurso en el área.

Construcción de perfiles geológicos

Se crearon tres perfiles geológicos, perpendiculares al rumbo general de las formaciones geológicas al norte, centro y sur del polígono.

Para la elaboración de perfiles se hizo uso del método de Kink, pliegues chevron, debido a que en afloramientos se observó el comportamiento de los estratos de esta manera.



Foto 11. *Pliegues tipo chevron en zonas de fallamiento. Fuente: Autor.*

Se observa cómo en esta falla de tipo inversa, el bloque cabalgante sufre un mayor plegamiento en comparación con el bloque cabalgado. De esta manera es representado en los perfiles, para tener fidelidad con el comportamiento de las rocas en la zona.

Muestreo de carbones

Se toman muestras de carbón en puntos estratégicos con la finalidad de conocer la ubicación de estos en la formación Umir y así corroborar el modelo geológico pre-establecido, y por otro lado para tener conocimiento de los distintos tipos de carbón presentes en el área. Estas muestras fueron tomadas a través del muestreo de canal en los mantos cortados bajo tierra, y mediante apiques en los mantos aflorantes como se establece en las Normas generales sobre muestreo y análisis de carbones del Ingeominas.

Caracterización de carbones

Para la caracterización de carbones, se tuvo en cuenta la clasificación ASTM de carbones por rango, de acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis inmediatos (humedad, cenizas y materia volátil), además de carbono fijo, azufre, poder calorífico e índice de hinchamiento fsi.

Evaluación de recursos

Se realizó la evaluación de los recursos bajo los estándares definidos por Ecocarbón en el Sistema de clasificación recursos y reservas, bajo el método radial.

Calidad: el contenido de cenizas debe ser inferior al 33% y el de azufre total debe ser inferior al 3% para toda clase de carbón.

Distancia desde los puntos de medición: Las categorías de “medido”, “indicado”, “inferido” e “hipotético” se definen mediante distancias máximas contadas a partir del punto de medición más cercano. Estos valores se han fijado en 250m, en 750m, en 2250m y >2250m, respectivamente.

Espesor de los mantos de carbón: Se establece el espesor de $\geq 0,40\text{m}$, como valor límite para considerar, dentro de los recursos, los carbones antracíticos, bituminosos y sub-bituminosos; de esta manera, toda capa de carbón de espesor inferior se considera una cinta.

Intercalaciones estériles: se refieren a cualquier roca diferente a carbón, dentro de un manto de carbón. Según el espesor que tengan, serán separables o no. Los estériles no separables se pueden aceptar siempre y cuando el carbón extraído contenga menos del 33% en peso de cenizas. (ECOCARBON, 1995)

GEOLOGÍA

ESTRATIGRAFÍA

El área de estudio se encuentra localizada en el borde oriental de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena, encontrándose entonces la parte occidental de la Cordillera Oriental y el cinturón de pliegues y cabalgamientos al oriente del Valle Medio del Magdalena.

La columna sedimentaria de esta cuenca consiste en calizas y lutitas marino somera del Cretáceo, y predominantemente rocas sedimentarias fluviales del Terciario.

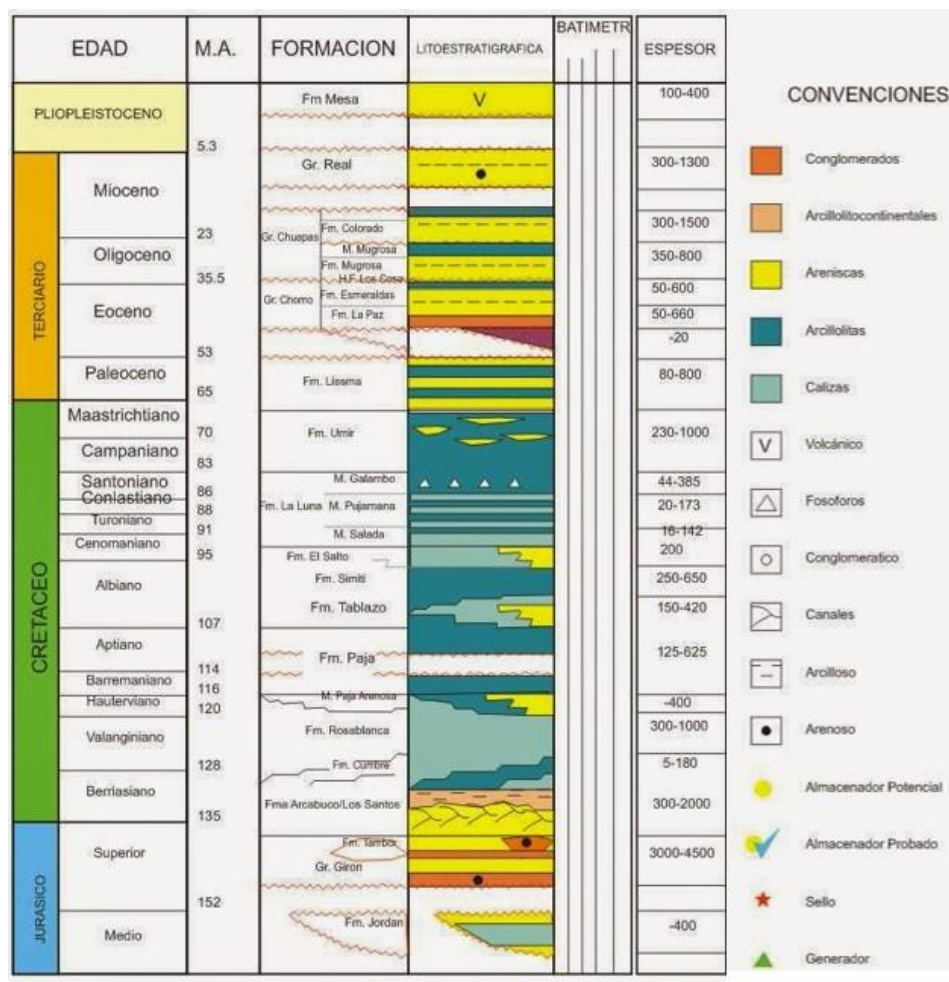


Ilustración 10. Columna Estratigráfica Generalizada de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena. Modificado de ECOPETROL (2000).

Durante el Cretácico temprano, una transgresión marina condujo al llenado de la cuenca tras-arco por una secuencia progradante. La transgresión máxima durante el Turoniano-Santoniano condujo a la deposición de la formación La Luna. En el Cretáceo Tardío (Maastrichtiano), el inicio de la regresión marina dio lugar a la deposición de una secuencia de transición correspondiente a la formación Umir. Finalmente, el levantamiento en el Terciario de la Cordillera Oriental (orogenia andina) resultó en el desarrollo de una secuencia continental. (Rangel et al., 2002)

Unidades del Cretácico

Formación La Luna (Ksl)

Nombre: Originalmente fue descrita como “La Luna Limestone” por Hedberg (1931) a partir de afloramientos localizados en la Quebrada La Luna, Distrito de Perijá, Venezuela, y la extienden al Valle Medio del Magdalena por marcada similaridad (Hedberg & Sass, 1937, en Morales et al. 1958). Ha sido considerada la roca generadora por excelencia de hidrocarburos tanto en Venezuela como en el Valle Medio del Magdalena en Colombia. En otras áreas como en la Cuenca del Catatumbo, sector de la Sierra Nevada del Cocuy e incluso en la parte sur del Valle Medio y Valle Superior del Magdalena, su nombre se ha utilizado refiriéndose a parte de la misma, ya que cambios de facies representados en intromisión de sedimentos terrígenos la modifican, de acuerdo a la posición dentro de la amplia cuenca de depósito, desarrollada en el intervalo de tiempo en que la unidad se depositó

Sección tipo: Fueron distinguidos tres miembros en esta formación:

- El Miembro Salada fue definido con localidad tipo en la desembocadura de la Quebrada Salada al Río Sogamoso y yace en contacto conforme con la infrayacente Formación Calizas del Salto. (Morales et al., 1958) incluye en esta parte inferior shales calcáreos (“limy shale”), duros, negros finamente laminados en capas delgadas con aspecto de pizarras (“slate”) en afloramiento.
- El Miembro Pujamana es la unidad intermedia y la localidad tipo definida en la Quebrada Pujamana o Pujamanes (nombre que aparece registrado en los mapas topográficos del IGAC), localizada 4 km al norte de la localidad anterior. Morales et al. (1958), la describen como un intervalo de shales grises a negros, calcáreos finamente estratificados. Respecto al espesor el autor

hace la aclaración, que por la distorsión de los afloramientos y la plasticidad de los shales, las medidas de superficies son poco precisas.

- El Miembro Galembo o parte superior de la Formación La Luna toma su nombre del cerro del mismo nombre, en inmediaciones a la desembocadura de la Quebrada Pujamana en la Quebrada Arenal a su vez afluente del Río Sogamoso (Morales et al., 1958). Los autores advierten que múltiples exposiciones se encuentran en los alrededores de la localidad tipo y la describen como shales calcáreos duros, negros, con concreciones discoidales e intercalaciones de calizas arcillosas. Resalta la presencia hacia el techo de intercalaciones de capas fosfáticas y chert.

Litología: En el área en cuestión, se encuentra aflorante la parte superior de esta formación, tratándose de unas calizas arcillosas intercaladas con shales calcáreos y encima de ellas aproximadamente 90 m de calizas fosfáticas gris muy oscuro con presencia de foraminíferos en capas gruesas planas paralelas continuas.

Espesor: La Luna, presenta un espesor estimado de 706m. (L. A. Gómez et al., 2008)

Contacto: En el contacto superior de la Formación La Luna con la suprayacente Formación Umir existe una discordancia de bajo ángulo, donde la faltante se trata de la zónula de *Marginulina curvisepta* (Morales et al., 1958: 655).

Edad: El miembro Salada ha sido datado como Turoniano inferior, el miembro Pujamana desde el Turoniano superior hasta en Coniaciano superior y el miembro Galembo ha sido fechado como del intervalo Coniaciano superior hasta Santoniano. (Sarmiento, Puentes, & Sierra, 2015a)

Fósiles: foraminíferos plantónicos y en menor proporción, bentónicos, conchas de microbivalvos. (Sarmiento et al., 2015a)

Ambiente: En general la litología, estratificación, laminación interna y la poca bioturbación, indican un nivel energético bajo que podría eventualmente interpretarse como: un ambiente de rampa profunda con ruptura de pendiente distal según la clasificación de Read (1985), o, un ambiente de plataforma – lagoon según el mismo autor. (L. A. Gómez et al., 2008)



Foto 12. Calizas fosfáticas con presencia de foraminíferos, parte superior de la formación La Luna. Fuente: Autor.

Formación Umir (Ksu) (k5-k6)

Nombre y sección tipo: La Formación Umir fue propuesta por Huntley en 1917 en (Morales et al., 1958); su localidad tipo se describió en la quebrada del mismo nombre, afluente del Río Oponcito, en la vía Barrancabermeja - San Vicente de Chucurí, sector suroccidental del Sinclinal de Nuevo Mundo, en el Departamento de Santander.

En forma general se define como un conjunto de shales grises a negros, carbonosos, micáceos, con concreciones ferruginosas e intercalaciones cada vez más abundantes hacia el techo de areniscas líticas, limolitas grises y presencia de mantos explotables de carbón.

Litología: Fueron distinguidos litológicamente cinco miembros

Miembro 1 (Ksu1): 150 a 200m de arcillolitas fisiles carbonosas intercaladas con capas delgadas de limolitas con alto contenido de hierro las cuáles presentan estructura boudinage como producto de las deformaciones por la actividad tectónica de la zona.



Foto 13. Intercalación de arcillolitas fisiles negras y capas delgadas de limolitas ferruginosas, resaltando la presencia de estructura boudinage o 'amorcillamiento'. Fuente: Autor.

Miembro 2 (Ksu2): aproximadamente 200 metros de intercalación de arcillolitas y limolitas grises oscuras con laminación plana paralela continua en capas delgadas, hacia la parte media arcillolita y limolita ferruginosa en capas delgadas, y hacia el techo nuevamente se encuentra la intercalación de arcillolitas y limolitas grises con presencia de mantos y cintas de carbón.

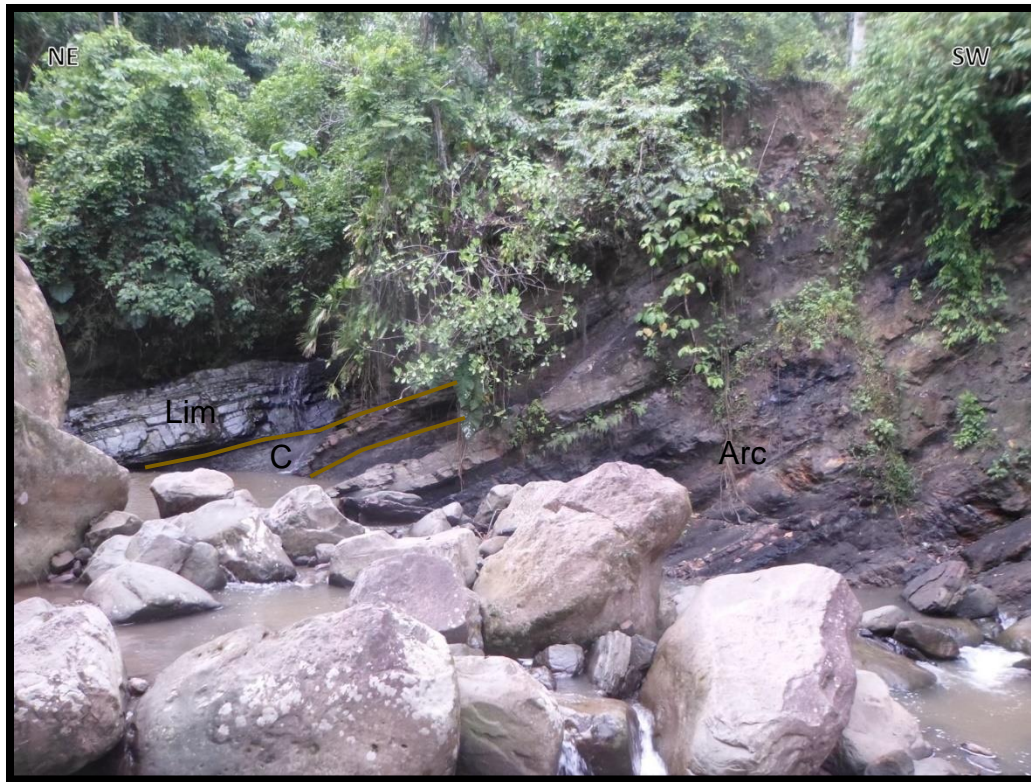


Foto 14. Intercalación de limolitas (lim) y arcillolitas (arc) grises con presencia de mantos de carbón (c), techo del miembro 2 de la formación Umir. Fuente: Autor.

Miembro 3 (Ksu3): conformado por un espesor total de 140m compuesto principalmente por limolitas y areniscas de grano muy fino grises en capas medias a gruesas, presentando un adelgazamiento de ellas hacia el techo. Hacia la base se encuentra una intercalación de limolitas y areniscas con presencia de geometría cuneiforme en sus capas. En la parte media de este miembro se encuentran 50 m de areniscas de grano muy fino grises en muestra fresca y color amarillo crema en muestra meteorizada, en capas gruesas hacia la base y adelgazamiento de ellas hacia el techo; denominado como nivel guía ‘La Despensa’. Hacia el tope, existe una disminución del tamaño de grano pasando a lodolitas y limolitas grises.



Foto 15. Geometría cuneiforme en capas de areniscas del miembro 3 de la formación Umir
 Fuente: Autor.



Foto 16. Arenisca de grano muy fino en capas medias a gruesas de la parte media de la
 formación Umir. Fuente: Autor.

Miembro 4 (Ksu4): 380 m de intercalaciones de lodolitas y limolitas hacia la base, arcillolitas y limolitas ferruginosas en la parte media, y lodolitas y areniscas hacia el techo; todas estas grises en capas delgadas a medias con presencia de cintas y tres mantos de carbón desde 0,5m hasta 0,8m de espesor.



Foto 17. Manto de carbón en la parte superior de la formación Umir. Fuente: Autor.

Miembro 5 (Ksu5): 90 m de arcillolitas y limolitas abigarradas en capas delgadas, intercaladas con areniscas de grano muy fino en capas medias.



Foto 18. *Arcillolitas abigarradas presentes en la parte superior de la formación Umir.*

Fuente: Autor.

Ambiente: la presencia de rocas compactas con buena selección de grano, laminación fina definida por concentraciones de materia orgánica y material arcilloso, así como la presencia de siderita indican un depósito acumulado en un ambiente de lagoon influenciado por mareas. De otra manera la presencia de carbón sugiere un ambiente de dominio fundamentalmente estuarino. (L. A. Gómez et al., 2008)

UNIDADES DEL TERCIARIO

Formación Lisama (Tpl) (E1)

Nombre y sección tipo: La Formación Lisama fue definida por T. A. Link en 1925 en un reporte inédito. (Julivert, 1968). La localidad tipo es la Quebrada Lisama, un afluente del Río Sogamoso, al noreste de la Concesión de Mares.

La sección tipo son principalmente shales moteados con colores grises y marrón, intercalados con arenitas de grano fino a medio de color gris, gris verdoso y marrón, algunas con estratificación cruzada. Hacia el techo, las areniscas son de grano grueso. (Morales et al., 1956: 656 - 657)

Litología: Hacia el noreste del área, tomando camino hacia la escuela El Recuerdo, se encuentran areniscas de grano fino a medio grises y rojizas en capas medias intercaladas con limolitas. Hacia el techo aumenta el tamaño de grano, encontrándose areniscas de grano medio intercaladas con lodolitas.

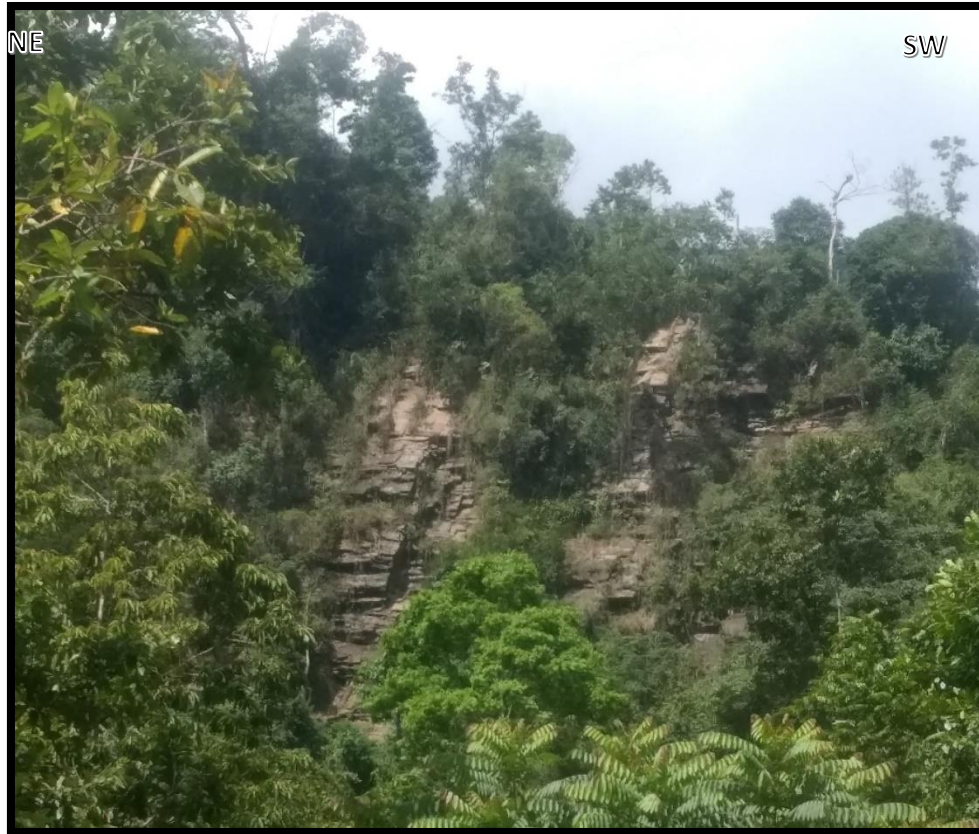


Foto 19. Areniscas de la formación Lisama. Fuente: Autor

Espesor: En el área se encuentran 120 m de potencia para la formación Lisama.

Contacto: El contacto inferior con la Formación Umir es concordante, siendo notorio el cambio de ambiente a uno más continental. En cuanto al contacto superior con la formación La Paz se trata de una discordancia regional (Eoceno tardío) y discordancia angular (Ward, 1973)

Edad: La edad de la Formación Lisama ha sido establecida mediante palinología como del Paleoceno Tardío (Pardo & Roche 2009).

Ambiente: los depósitos de la Formación Lisama configuran una sucesión progradante en planos inter-supramareales y planos puramente aluviales con desarrollo de canales meandriformes, con eventos periódicos de inundación y exposición bajo fuerte influencia estuarina.(L. A. Gómez et al., 2008)

Formación La Paz (Tel) (E2)

Nombre y sección tipo: El nombre de la Formación La Paz proviene del filo del mismo nombre que se extiende a lo largo de la vertiente oriental del valle del Magdalena, entre los ríos Sogamoso y Lebrija. Fue publicado por primera vez por Wheeler, en 1935 (Morales et al., 1958: 658).

La unidad consiste principalmente de arenitas conglomeráticas compuestas de cuarzo blanco y de arcillolitas grises claras, con estratificación cruzada; están intercaladas por arenitas arcillosas de cuarzo grises verdosas y por arcillolitas verdosas a violetas.

Litología: En la zona se encuentran aflorando hacia el noreste del área conglomerados de guijos y areniscas matriz soportadas.

Espesor: En esta zona la formación tiene un espesor total de 38m.

Contacto: El contacto con la infrayacente Formación Lisama es neto, erosivo, mostrando un evidente cambio litológico; y con la suprayacente Formación Esmeraldas, contacto concordante.

Edad: La edad corresponde al Eoceno superior. (Morales et al, 1958).

Ambiente: la depositación de la formación La Paz es de origen continental, en un ambiente de corrientes trenzadas (Cooper et al., 1994)

Formación Esmeraldas (Tee) (e6–e7)

Nombre y sección tipo: El término de Formación Esmeraldas fue utilizado por los geólogos de la Gulf Oil Company, quienes establecieron la sección tipo en la localidad de Esmeraldas, localizada en cercanías del Río Sogamoso. Consta de areniscas de grano fino, de color gris claro a gris verdoso, con estratificación fina a laminada e intercalaciones de shale gris oscuro y colores moteados de rojo, púrpura y marrón.(L. A. Gómez et al., 2008)

Litología: En el noreste del área aflora la formación Esmeraldas, encontrándose areniscas de grano medio, micáceas, en capas muy gruesas y lodolitas y arcillolitas abigarradas; en la parte superior lodolitas y areniscas de grano medio.

Contacto: Con la infrayacente Formación La Paz, se encuentra en contacto concordante; y el contacto con la suprayacente Formación Mugrosa es al parecer discordante aunque este varía de W a E, siendo menos evidente en el flanco E del sinclinal de Nuevo Mundo (Caballero et al. 2010).

Espesor: Localmente se encuentra una potencia total de 186m para la formación Esmeraldas

Edad: Ward et. al (1973) indica que los estudios de polen reportan una edad del Eoceno Superior sobre la base de correlación con Polen de Eoceno Superior de la Cuenca de Maracaibo.

Ambiente: El ambiente corresponde a sistemas fluviales de llanuras aluviales y ríos meándricos que varían hacia el norte a llanuras bajas lacustres afectadas al parecer por influencia marina, donde se desarrolla el nivel fosilífero “Los Corros” de gasterópodos, bivalvos y macrofragmentos vegetales (Caballero et al. 2010).

Formación Mugrosa (Tom) (E3)

Nombre y sección tipo: La Formación Mugrosa fue introducida por A.K McGill (Morales et al, 1958), deriva su nombre de la quebrada del mismo nombre donde se encuentra su sección tipo.

Esta unidad está compuesta en la parte inferior por arenitas de grano fino a medio, de color gris a verde grisáceo, con intercalaciones de lodolitas de color gris azulado y algunas capas de areniscas conglomeráticas (Ward, 1973). La parte media está constituida por shales moteados de color azul opaco y marrón, masivos, con pocas intercalaciones delgadas de litoarenitas de grano fino a grueso, con intercalaciones de shale verde. Hacia la parte superior se encuentran lodolitas moteadas, fosilíferas. En la sección se encuentra esporádicamente glauconita (Morales, 1956:660).

La Formación Mugrosa aumenta de espesor progresivamente hacia el este, desde unos 500 m en el Campo Llanito pasa a unos 800m en las Ciras Infantas y puede llegar a tener 2000 m en el límite oriental a 25 km (Morales *et al.*, 1958:660).

Contacto: El contacto inferior con la Formación Esmeraldas es fallado, según Morales et al., 1958 el contacto es una inconformidad regional. El contacto superior con la Formación Colorado es concordante.(L. A. Gómez et al., 2008)

Espesor: En el área no aflora la totalidad del espesor de la formación. En la memoria explicativa de la plancha 150-Cimitarra del SGC, en la quebrada la Petrolea se levantaron 689 m de la Formación Mugrosa.

Edad: Pilsbry y Olsson, 1935 (Morales et al., 1958), asignan a la Formación Mugrosa una edad Oligoceno Inferior a medio.

Ambiente: sistemas fluviales de llanuras aluviales y ríos meándricos(Sarmiento, Puentes, & Sierra, 2015b)

Formación Colorado (Toc) (E3, N1)

Nombre y sección tipo: El nombre de Formación Colorado procede del Río Colorado, donde tiene su sección tipo, en la Concesión de Mares. Consta predominantemente de arcillas de color gris claro, púrpura y rojo, con intercalaciones de arenitas de cuarzo en bancos de espesor variable con estratificación cruzada. La parte superior de la formación consta de unos 100 m de arcillas de color gris y negro, carbonáceas, con arenitas de cuarzo de grano medio y poco potentes. (L. A. Gómez et al., 2008)

Litología: En general se constituye como una secuencia monótona de arcillas de color gris claro, púrpura y tonalidades rojas, en capas tabulares y cuneiformes, con estratificación inclinada subparalela y contactos ondulados, con intercalaciones de cuarzo arenitas a subarcosas de grano medio en capas tabulares de espesor variable con estratificación cruzada.(L. A. Gómez et al., 2008)

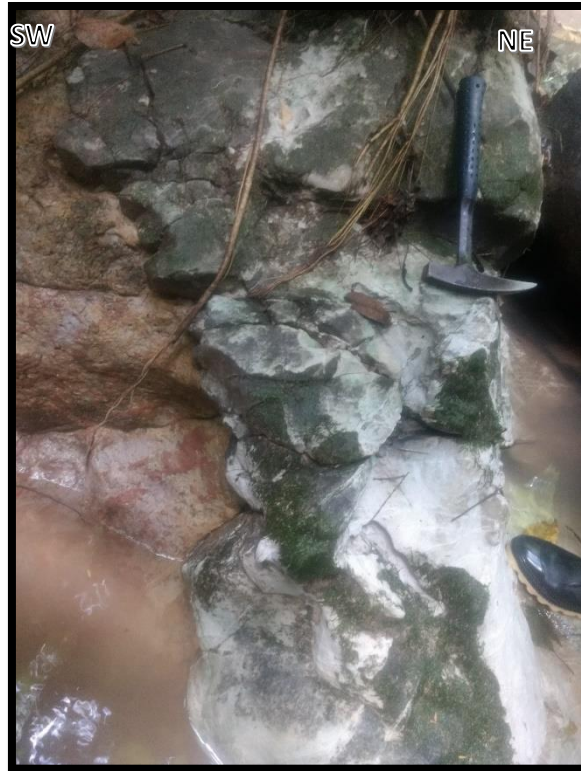


Foto 20. Afloramiento de areniscas de la Formación Colorado. Fuente: Autor

Contacto: La Formación Colorado descansa concordante sobre la Formación Mugrosa. Al límite superior la Formación Colorado infrayace al Grupo Real de manera discordante. (L. A. Gómez et al., 2008)

Espesor: En su sección tipo la Formación Colorado tiene un espesor de 1200 m, pero éste varía considerablemente y aumenta de una manera general hacia el E donde puede alcanzar hasta 2500 m al pie de la Cordillera Oriental. (L. A. Gómez et al., 2008)

Edad: Van Der Hammen (1958, p. 106) ha señalado que algunos análisis palinológicos de la parte superior de la Formación Colorado indican una edad del Oligoceno Superior.

Ambiente: Para Caballero et al. (2010) es una sucesión estrato creciente con facies que permiten predecir abanicos aluviales canaliformes (ríos trenzados)

UNIDADES INCONSOLIDADAS DEL NEÓGENO

Grupo Real (Tmr) (N1)

Nombre y sección tipo: De acuerdo con Morales et al. (1958) se denomina Grupo Real a la unidad del Neógeno cuya localidad tipo se establece en inmediaciones a la desembocadura de la Quebrada Real en el Río Opón.

En general es muy espesa formada a la base por 30m de conglomerados de guijos de chert negro, cuarzo, arenisca y suprayacidos por más de 500m de areniscas guijosas con estratificación cruzada e intercalaciones de lodolitas varicoloreadas. Sobre estas se presentan 1.300m de lodolitas varicoloreadas y areniscas subordinadas con estratificación cruzada y otros 1.100m de areniscas en las que son comunes los fragmentos de troncos silicificados o carbonizados. Sobre este material se presentan 500m de lodolitas varicoloreadas con intercalaciones de areniscas con grandes cantidades de hornblenda y augita. (Sarmiento et al., 2015b)

Litología: En el área de la plancha 150 - Cimitarra está constituida principalmente por capas gruesas de areniscas líticas de color gris y ocre, con estratificación cruzada y plano paralela, a veces laminadas, intercaladas con niveles tabulares a lenticulares de conglomerados con guijos y gravas de rocas sedimentarias, cuarzo lechoso y chert negro y ocre; e intercalaciones de capas gruesas de arcillolita limosa gris verdosa. (L. A. Gómez et al., 2008)



Foto 21. Areniscas del Grupo Real. Fuente: Google Earth, Julio de 2018.

Contacto: En la parte inferior, con la Formación Colorado se encuentra un contacto neto discordante. (Sarmiento et al., 2015b)

Espesor: Los espesores del Grupo Real sufren cambios notables. En la sección tipo del Río Opón el Grupo Real tiene un espesor de unos 3900m.

Edad: La edad del Grupo Real se ha asignado al Mioceno Tardío. (Sarmiento et al., 2015b)

Ambiente: En esta unidad predominan ambientes que van desde depósitos en una llanura costera deltaica a depósitos de llanura de inundación fluvial. (L. A. Gómez et al., 2008)

DEPÓSITOS CUATERNARIOS

Cuaternalio aluvial (Qal)

Este tipo de depósitos corresponde a bloques de limolitas calcáreas, chert, arcillolitas y areniscas pertenecientes a las formaciones: La luna, Umir, Lisama, La paz y Esmeraldas, los cuales han sido transportados por las corrientes principales como el río Guayabito, las quebradas la Balsuna, La Álvarez y Careperro; que drenan las áreas de interés, los mismos durante su transporte

han sido re TRABAJADOS y moldeados por las aguas de las quebradas; dependiendo la distancia a que han sido transportados tienen forma elipsoidal a subredondeada.



Foto 22. Cuaternario aluvial en el río Guayabito. Fuente: Google Earth, Julio de 2018.

CONTEXTO REGIONAL

La cuenca del Valle Medio del Magdalena (CVMM) separa las cordilleras Central y Occidental, y su estructura se encuentra fuertemente ligada con el flanco W de la cordillera oriental y su disposición de bloques progresivamente hundidos hacia el E, los cuales están separados por fallas o flexiones como manifestaciones de la fracturación del basamento. La falla de tipo inversa La Salina constituye el límite oriental de la cuenca, junto a la cual presenta una mayor subsidencia. (Julivert, 1961)

La CVMM es una parte de un sistema de cuenca de antepaís, la cual se superponía inicialmente a una provincia de Rift Mesozoico, y la subsiguiente inversión del sistema de Rift en la Cordillera Oriental imprimió fuertemente la naturaleza de la cuenca de antepaís.

Los pares anticlinal-sinclinal dispuestos en un patrón de escalonamiento hacia el este de sur a norte caracterizan el cinturón de pliegues por fallas inversas de la Cordillera Oriental a lo largo de la cuenca del Valle Medio del Magdalena. Este patrón puede reflejar la distribución de fallas normales del Mesozoico, cuya reactivación como fallas inversas se interpreta de haber conducido el levantamiento de la Cordillera Oriental (Schamel, 1991). Las principales fallas de este sistema se conocen como el sistema de fallas La Salina. Los anticlinales de arrastre son pliegues de flexión por fallas cuyos núcleos están compuestos por rocas Mesozoicas, mientras que los sinclinales sobre rampa llevado sobre superficies de separación se compone sobre todo de rocas terciarias. Anticlinales de rampa por propagación de fallas, a veces asociados con empujes ciegos, constituyen las estructuras más occidentales de las estribaciones de la Cordillera Oriental a lo largo de la cuenca del Valle Medio del Magdalena. (E. Gómez, Jordan, Allmendinger, Hegarty, & Kelley, 2005)

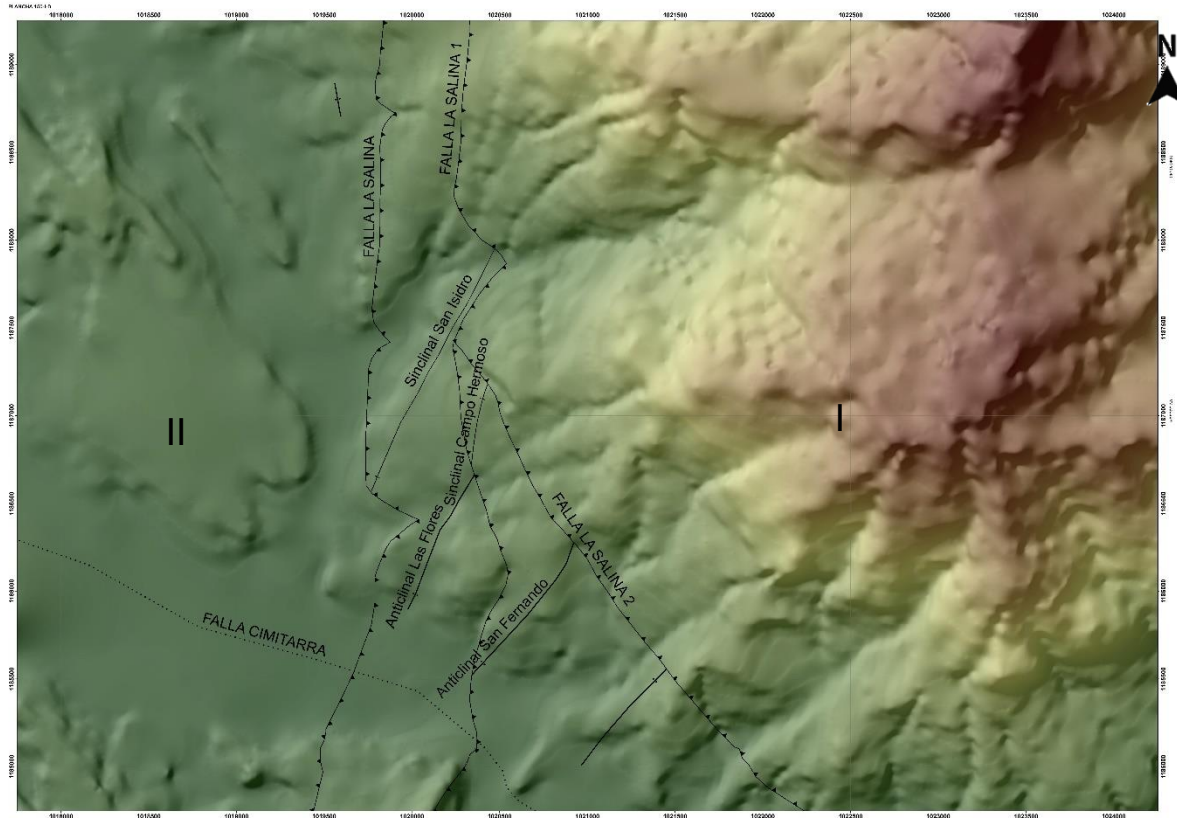


Ilustración 12. Mapa estructural del área. Fuente: Autor.

En el área se encontraron claramente dos provincias geotectónicas, las cuales son la provincia cordillerana y la provincia Piedemonte Occidental de la Cordillera Oriental separadas por la falla de tipo inversa La Salina.

Provincia cordillerana (I): Área al oriente de la falla La Salina caracterizado por una tectónica thick skin o de piel gruesa. Presumiblemente algunas de las fallas normales ancestrales que controlaban el rift mesozoico iniciaron el proceso de inversión durante el Oligoceno, acentuándose durante el Plio – Pleistoceno en respuesta a una mecánica transpresiva dominante, lo cual originó en algunas de estas estructuras la inversión del sentido de desplazamiento y en otras originó la concentración de la deformación en los bloques colgantes lo cual se registró con el desarrollo de pliegues apretados en estos bloques (Mora et al, 2006).

Provincia piedemonte occidental de la Cordillera Oriental (II): Provincia estructural limitada por el Sistema de Fallas de La Salina, encontrándose al occidente de ésta y caracterizada por una

tectónica de escama delgada. Las fallas de basamento que separan la provincia cordillerana del cinturón de pliegues y cabalgamientos del VMM, son fallas normales invertidas, relacionadas con el evento del rift Jurasico Tardío - Cretáceo Temprano (Colletta et al 1990). La inversión estructural a lo largo de estas fallas ha sido el mecanismo direccionador en la formación de la tectónica thin skin o de escama delgada en el cinturón de plegamiento y cabalgamiento del VMM.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

PLIEGUES

Sinclinal de armas

Es una estructura apretada y asimétrica su eje tiene sentido SSW-NNE, su flanco occidental presenta buzamientos entre 18° y 30° hacia el noroeste; el flanco oriental en su mayor parte, presenta buzamientos desde 40° a 60° al sureste.

Gran parte del área se trata del flanco occidental de éste sinclinal, el cual es configurado por el sistema de fallas La Salina. En sus flancos afloran rocas de la Formación Umir la cual presenta numerosos pliegues de segundo y tercer orden. (Monroy, 2014)

Sinclinal San Isidro

Se encuentra en la parte centro-occidental del título, estando su eje cercano a la parte baja de la quebrada La Balsuna. Estructura cuyo núcleo es el miembro superior de la formación Umir, con su eje en sentido SSW-NNE, configurado por las fallas La Salina al occidente y La Salina 1 al oriente. En su flanco oriental se encuentran buzamientos de 50° a 60°, mientras en el occidental se encuentran mayores ángulos de 70° a 80°.

Sinclinal Campo Hermoso

Estructura sinclinal que se encuentra en la parte sur-central del título, evidenciado próximo al trabajo bajo tierra dentro de la finca Campo hermoso. Su eje presenta también la dirección dominal SSW-NNE, acuñado por las fallas La Salina 1 y La Salina 2. Nucleado por la base del miembro 4 de la formación Umir.

Anticlinal Las Flores

Se evidencia en el carretable hacia La Jota, cerca a la Escuela Las Flores con la dirección de su eje SSW-NNE y cuyos flancos están conformados por los miembros 3 y 4 de la formación Umir. Su flanco occidental, el cual es configurado por la falla La Salina, presenta buzamientos de 50° en promedio, y hacia el oriente ángulos desde los 25° hasta los 40°.

Anticlinal San Fernando

Se encuentra próximo a la parte baja de la quebrada La Álvarez, con una dirección de su eje también SSW-NNE configurado al oriente por la falla La Salina 2. Sus flancos están compuesto por el miembro 2 de la formación Umir.

FALLAS

Falla La Salina

El plano de esta falla se inclina hacia el este con un ángulo de 50°. Presenta un rumbo regional SSW – NNE y limita la provincia cordillerana de la provincia de piedemonte occidental de la Cordillera Oriental. Corresponde con un sistema de cabalgamientos regionales con vergencia occidental. Pone en contacto rocas del Cretáceo Superior como lo son las Formaciones La Luna y Umir, con rocas del Mioceno – Oligoceno de las Formaciones Colorado, Mugrosa y Grupo Real.

La falla de La Salina es una estructura profunda, de alto ángulo, que involucra el basamento pre-Cretáceo. El carácter regional, la geometría de la falla y el control estratigráfico y estructural que ejerce sobre las secuencias que afecta, permiten clasificarla como una estructura “clave” en el desarrollo del margen occidental del rift mesozoico del norte de Colombia y en la configuración del borde occidental de la Cordillera Oriental. (Monroy, 2014)



Foto 23. Falla La Salina, que pone en contacto la Formación Umir con la Formación Mugrosa. Fuente: Autor.

Falla la salina 1

Falla de tipo inversa, paralela a la falla La Salina y perteneciente al mismo sistema regional de la falla La Salina. Pone en contacto miembros inferiores con miembros superiores de la Formación Umir. De igual manera a la falla La Salina, su plano se inclina hacia el este, pero en este caso con una inclinación de 55° . Configura pliegues anticlinal y sinclinal que afectan los mantos superiores de la formación.

Falla la salina 2

Pertenece también al mismo sistema regional de la falla La Salina, con la misma dirección de esta e igualmente tipo inversa. Esta falla se prolonga hasta la parte central del área del título, donde es intersectado con la falla La Salina 1. Pone en contacto la base de la formación Umir con miembros inferiores a medios de esta misma formación. Su plano igualmente se inclina hacia el este, pero en cambio con un ángulo de 60° . Configura numerosos pliegues que afectan los mantos de carbón del área, principalmente los inferiores.

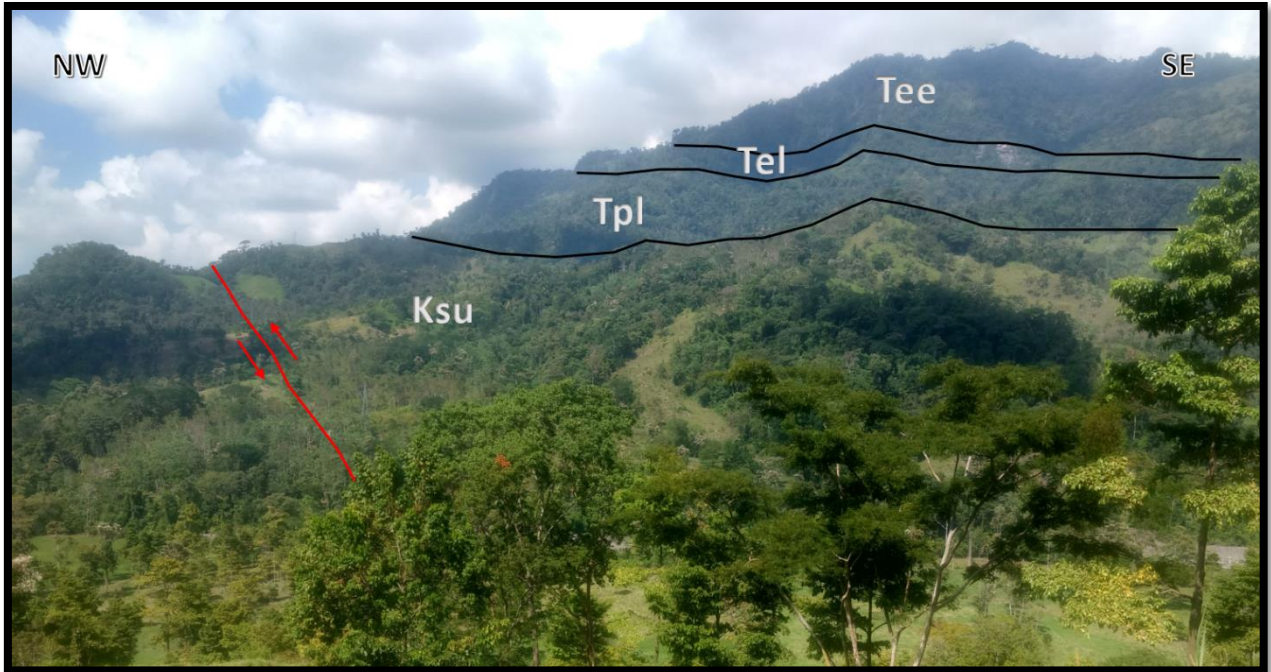


Foto 24. Falla La salina 2. Fuente: Autor.

Falla Cimitarra

Esta estructura presenta una tendencia de rumbo subperpendicular a la falla la Salina. Su carácter dominante es rumbo deslizante con desplazamiento lateral izquierdo afectando rocas de las secuencias terciarias en la provincia de piedemonte occidental de la Cordillera Oriental. Como es típico en esta clase de estructuras presenta alto ángulo de buzamiento. (L. A. Gómez et al., 2008)

MUESTREO Y ANÁLISIS DE CARBÓN

Muestreo de carbón

Para el muestreo de carbón en el área, se seleccionaron puntos estratégicos en afloramiento y bajo tierra. Estas muestras fueron tomadas como es indicado en Normas generales sobre muestreo y análisis de carbones de Ecocarbón. Para el caso de las muestras en afloramiento, se realizó el destape del carbón hasta obtener una muestra representativa menos alterada del manto; y para las muestras bajo tierra, se realizó muestreo de canal obtenido mediante un corte uniforme y continuo perpendicular a la estratificación.(ECOCARBÓN, 1995)

Dichas muestras fueron tomadas con la finalidad de tener mayor conocimiento de los mantos de interés encontrados y la distribución geológica del área.

Tabla 4. Ubicación de las muestras de carbón tomadas y su espesor. Fuente: Autor.

IDENTIFICACIÓN	COORDENADAS			ESPESOR(m)	OBSERVACIONES
	ESTE	NORTE	COTA(m)		
Muestra 01	1020792	1186962	433	0,5	Muestreo por trinchera
Muestra 02	1021080	1187083	534	0,8	Muestreo por trinchera
Muestra 03	1021231	1186156	578	0,9	Muestreo por trinchera
Muestra 04	1021011	1186423	465	0,7	Muestreo por trinchera
Muestra 05	1021324	1186221	442	1,1	Muestreo por trinchera
Muestra 07	1020643	1185380	241	0,1	Muestreo por trinchera
Muestra 08	1021922	1185337	406	2,5	Muestreo por trinchera
Muestra 09	1021694	1184711	288	0,7	Muestreo por trinchera
Muestra 10	1020493	1185992	341	0,5	Muestreo por trinchera
Muestra 11	1020371	1185998	349	0,8	Muestreo por trinchera
Muestra 12	1020201	1188978	453	0,75	Muestreo por trinchera
Muestra 13	1020117	1188312	374	0,8	Muestreo por trinchera
Muestra 14	1020429	1185848	296	1	Muestreo por trinchera
Muestra 15	1021094	1185899	325	1	Muestreo por trinchera
Muestra 16	1021132	1186093	355	0,68	Muestreo por trinchera

Muestra 17	1020494	1187743	351	0,6	Muestreo por trinchera
Muestra 18	1020450	1187856	320	2	Muestreo por trinchera
Muestra 19	1020536	1187897	322	0,4	Muestreo por trinchera
Muestra 20	1020640	1187910	336	1,3	Muestreo por trinchera
Muestra 21	1020748	1187940	353	1,3	Muestreo por trinchera
Muestra 22	1020435	1186947	361	0,9	Muestreo por trinchera
Muestra 23	1020533	1186979	360	0,63	Muestreo de canal
Muestra 24	1020568	1186984	360	1,1	Muestreo de canal
Muestra 25	1020785	1187011	360	0,3	Muestreo de canal

Parámetros de calidad y clasificación de carbones

Cada una de estas muestras son analizadas en laboratorio, obteniéndose los resultados de los análisis inmediatos (humedad, cenizas y materia volátil), además de carbono fijo, azufre, poder calorífico e índice de hinchamiento fsi.

Análisis inmediato

Comprende la medida del contenido en humedad, volátiles, cenizas y carbono fijo; es la forma más simple y generalizada de caracterizar un carbón debido a que se puede realizar con un equipo básico de laboratorio, aunque hoy en día existen equipos totalmente automáticos más complejos.

Humedad

Se determina generalmente por porcentaje de pérdida de peso al calentar una muestra en estufa a 105 °C. Por encima de esta temperatura aparecerían las pérdidas de agua quimisorbida, poco importantes para la mayoría de los carbones, pero apreciables para los lignitos y, de forma general, tanto mayores cuanto menor sea el rango del combustible. A medida que se aumentara la temperatura de calentamiento, se desprendería el agua ligada con motivo del inicio de las reacciones de pirólisis.

La humedad de un combustible es muy variable, en función de las condiciones de extracción y de su preparación mecánica, el tiempo en que ha estado expuesto a la acción atmosférica y las

condiciones atmosféricas propias en el momento del muestreo. Si se permite que un carbón alcance el equilibrio, a una temperatura determinada con una atmósfera de humedad concreta, se obtiene una humedad de equilibrio o humedad estándar, característica del combustible, que varía en función del rango, según se detalla a continuación:

TURBAS 20-30%

LIGNITOS 15-25%

HULLAS 5%

ANTRACITAS 3%

Esta humedad, según normas A.S.T.M., se mide a 30 °C en presencia de aire y un 97% de humedad relativa.

Los contenidos en humedad de un carbón tienen efectos en distintos ámbitos:

- a) Los carbones de bajo rango, con mayores contenidos en humedad, tienen costes relativos de transporte más altos.
- b) La humedad actúa como un inerte, bajando las temperaturas de llama, evacuando entalpía de cambio de estado con los humos e incrementando el consumo de auxiliares (ventiladores).
- c) Un bajo contenido en humedad favorece la molienda e inhibe las posibles aglomeraciones.

Contenido en volátiles

Durante la fase inicial del proceso de combustión se desprenden del carbón volátiles, consistentes en distintas cantidades de hidrógeno, óxidos de carbono, metano y otros hidrocarburos de bajo peso molecular. El contenido en volátiles de un carbón constituye una importante propiedad de éste, proporcionando una indicación de su reactividad y facilidad de ignición. La medida de la cantidad de volátiles emitida es, en la práctica, una función de las características de la muestra de carbón y del proceso de combustión seleccionados. En este sentido, el ensayo propuesto por ISO para su determinación fija la temperatura (900 °C), la duración (7 min.) y el

recipiente sobre el cual se debe depositar la muestra fuera del contacto del aire; se define como contenido en volátiles del carbón la pérdida de peso de la muestra en estas condiciones.

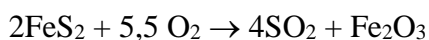
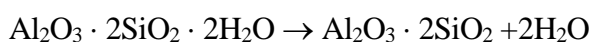
Este parámetro caracteriza la estabilidad de la llama tras la ignición, así como la facilidad para la producción de ésta. En este sentido, los carbones de alto rango tienen pocos volátiles y arden muy lentamente, siendo crítica la estabilidad de llama.

Un contenido excesivamente alto en volátiles (superior al 30%) puede provocar problemas de seguridad en la molienda, debido a la aparición de igniciones espontáneas.

Cenizas

Es el residuo sólido tras una combustión completa de toda la materia orgánica y de la oxidación de la materia mineral presente en el carbón. No es nunca igual al contenido en sustancias minerales del combustible antes de la combustión pues éstas modifican sus formas de combinación.

De entre las múltiples reacciones químicas que intervienen las principales son la deshidratación del caolín y del yeso, la disociación de los carbonatos y la oxidación de las piritas. Por otro lado, ciertos constituyentes como los cloruros se volatilizan total o parcialmente. Las transformaciones químicas más importantes se representan, al menos teóricamente, por las ecuaciones:



Estas reacciones originan una pérdida de peso de los productos con respecto a los reactivos, de manera que, salvo en casos muy raros, el contenido en cenizas obtenido por calcinación en presencia de aire es siempre una medida por defecto del contenido en sustancias minerales del carbón. Ello obliga a "normalizar" la temperatura y duración del ensayo.

Por consiguiente, las cenizas definen la calidad del carbón en la combustión al determinar el contenido en materia incombustible presente. A mayor contenido en cenizas, menor poder

calorífico presentará el carbón bruto y mayores serán los sobrecostes de manipulación y tratamiento, así como los posibles problemas de erosión en los equipos de transporte y combustión.

Por otra parte, la descarga de las escorias a alta temperatura y estado pastoso en las calderas de escorias fundentes implica la extracción de cantidades sustanciales de calor sensible. No obstante, el extra-coste de utilizar carbón lavado no siempre se justifica, aunque, de esta forma, las cantidades de cenizas depositadas en bancos de tubos son menores, así como son también inferiores las necesidades de soplado. Adicionalmente, un mayor contenido de cenizas requiere una eficacia superior para el equipo de depuración de partículas.

En este sentido, cabe destacar la importancia que los constituyentes de las cenizas tienen sobre el rendimiento de la caldera y su conexión con los procesos de ensuciamiento, escoriación y corrosión de las superficies calientes.

Contenido en Carbono Fijo

Este parámetro es calculado, obteniéndose por diferencia a 100 de la suma de los contenidos, en tanto por ciento, de humedad, volátiles y cenizas del carbón secado al aire.

Asimismo, el contenido en carbono fijo se emplea para estimar la cantidad de coque (productos de combustión intermedios) que se puede producir, así como el contenido de inquemados en las cenizas volantes.

Análisis elemental

Azufre total

La composición elemental de la fracción orgánica del carbón se determina en base a métodos de oxidación, descomposición y/o reducción, siendo realizados estos análisis en la actualidad mediante equipos automáticos basados fundamentalmente en la técnica del infrarrojo.

Adicionalmente, se consideran los datos de humedad y contenido en cenizas del análisis inmediato, con objeto de expresar los resultados del análisis elemental en tanto por ciento en peso y base seca exenta de cenizas.

El contenido en azufre del carbón está relacionado con distintos problemas medioambientales y de operación en las calderas:

- El azufre se oxida a SO_2 , así un carbón con un 0,9% de azufre (22% de cenizas) provoca una concentración de SO_2 en humos (6% O_2) de aproximadamente 1875 mg/Nm³. Este valor se compara con los 400 mg/Nm³ fijados como límite en la Unión Europea para nuevas centrales de más de 500 MW.

- Una parte del SO_2 , normalmente menos del 2%, se convierte a SO_3 ; gran parte de éste se transforma en sulfatos tras reabsorberse con los metales alcalinos de las cenizas. Estos sulfatos incrementan la tendencia al ensuciamiento y la corrosión de las superficies de transferencia de calor.

- Si se alcanzan temperaturas inferiores al punto de rocío ácido, el SO_3 se combina con el vapor de agua de los gases de combustión, generando ácido sulfúrico que provoca problemas graves de corrosión en las zonas frías de la caldera, principalmente en los conductos de gases de combustión y sistemas de tratamiento de éstos.

Poder calorífico

Es uno de los principales parámetros característicos de todo carbón. Se define como la cantidad de calor que se libera cuando se quema la unidad de masa de un carbón en condiciones normalizadas.

Propiedades físicas y mecánicas

Índice de hinchamiento y aglomeración

Es un indicador del comportamiento del carbón cuando se calienta, haciendo referencia a las características de carbonización y de producción de especies intermedias ("char" o coque). Así un alto índice de hinchamiento sugiere que durante la combustión la partícula de carbón se expandirá para formar residuos porosos de poco peso, que serán emitidos con los gases de combustión y podrán contribuir, de esta forma, a unos elevados niveles de inquemados en las cenizas volantes.

La determinación del índice de hinchamiento consiste en la combustión en unas condiciones preestablecidas de una muestra de carbón en un recipiente característico, comparándose el coque residual obtenido con una serie de perfiles de referencia.

Este ensayo se realiza en laboratorio mediante una bomba calorimétrica, a través de la determinación de las diferencias de temperatura antes y después de que se produzca la combustión de la muestra. De esta forma se calcula el poder calorífico bruto a volumen constante (Poder Calorífico Superior), esto es, la energía total del carbón incluyendo el calor latente de condensación del vapor formado en el proceso. En la práctica el vapor de agua y otros compuestos (ácidos como HNO₃ y H₂SO₄) escapan directamente a la atmósfera sin condensar; la corrección del Poder Calorífico Superior debido a estas pérdidas se realiza en base a distintos factores como la humedad y los contenidos en oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y azufre, obteniéndose el denominado Poder Calorífico Inferior (Neto).

Tabla 5. Resultados de análisis realizados a las muestras de carbón tomadas. Fuente: Autor.

IDENTIFICACIÓN	HUMEDAD RESIDUAL (%)	CENIZAS (%)	MATERIA VOLÁTIL (%)	CARBÓN FIJO (%)	AZUFRE (%)	PODER CALORÍFICO (Kcal/Kg)	FSI
Muestra 01	0,62	8,16	15,55	75,67	0,98	8213	5,1/2
Muestra 02	0,58	24,89	17,57	56,96	1,20	8117	0
Muestra 03	1,10	33,48	23,83	41,59	1,40	7037	0
Muestra 04	0,47	6,72	32,26	60,55	0,92	8093	0
Muestra 05	0,53	2,79	15,00	81,68	0,95	7947	0
Muestra 07	1,20	19,44	15,70	63,66	0,86	7962	2
Muestra 08	0,65	3,83	12,77	82,75	0,82	8133	0
Muestra 09	0,88	5,26	32,15	61,70	3,70	7906	0
Muestra 10	2,30	8,92	21,59	67,19	0,88	8064	0
Muestra 11	0,93	3,89	22,67	72,51	0,90	7953	7,1/2
Muestra 12	0,95	7,86	37,86	53,33	4,22	7816	3,1/2

Muestra 13	0,64	3,41	35,82	60,13	0,89	8248	0
Muestra 14	1,60	4,53	22,61	71,26	1,10	8136	2
Muestra 15	1,40	2,34	17,31	78,94	0,91	7867	8
Muestra 16	0,53	4,33	16,51	78,64	0,75	8160	6,1/2
Muestra 17	0,49	7,37	21,03	71,11	0,91	8349	8
Muestra 18	0,52	36,69	27,22	35,58	4,60	5046	1
Muestra 19	0,87	5,31	22,24	71,56	0,81	8063	8,1/2
Muestra 20	0,94	3,93	19,36	75,77	0,82	8196	8
Muestra 21	0,90	11,90	19,90	67,30	4,86	7427	8
Muestra 22	0,48	7,56	20,84	71,12	0,88	8049	4
Muestra 23	0,54	1,87	28,66	68,93	0,63	8396	8
Muestra 24	0,52	2,82	18,11	78,56	0,48	8305	8
Muestra 25	0,45	15,69	14,88	68,97	1,74	7068	5,1/2

Caracterización de carbón

Los resultados de laboratorio de las muestras de carbón fueron clasificadas bajo la norma ASTM, la cual desarrolló un método de clasificación de carbones basado en parámetros obtenidos mediante ensayos normalizados. La norma busca que las propiedades utilizadas para la clasificación sean lo suficientemente sencillas de determinar mediante el análisis próximo y el poder calorífico. La terminología derivada de esta norma es de uso extendido a nivel mundial y estandariza el uso de términos como poder calorífico (*PC*), materia volátil (*MV*), humedad (*Hd*), ceniza (*Cz*) y carbono fijo (*CF*). (ASTM. American Society for Testing and Materials, 2012)

Por su disposición ortogonal, el poder calorífico y el índice de volátiles son dos parámetros complementarios para caracterizar el carbón. Esta característica es aprovechada por Parr para establecer la clasificación ASTM. En esta clasificación los carbones de rangos más elevados se especifican en base al carbono fijo (para volátiles $\leq 31\%$) en base seca, exenta de cenizas. Los de rangos inferiores se clasifican en función del poder calorífico en base húmeda, exenta de cenizas.

Se produce un cierto solapamiento entre carbones bituminosos y subbituminosos, que se resuelve sobre la base de las propiedades aglomerantes y de desmenuzabilidad. (Cortés, 1978)

Tabla 6. Clasificación ASTM de carbones por rango (De Baez J, 2003).

CLASE	GRUPO	CARBONO Fijo % Slm.m		MATERIA VOLÁTIL % Slm.m		Poder calorífico Cal/gr hlmm		CARÁCTER AGLOMERANTE
		>	<	>	<	>	<	
Antracítico	1. Meta-Antracita	98			2			No Aglomerante
	2. Antracita	92	98	2	8			
	3. Semiantracita a	86	92	8	14			
Bituminoso	1. Bituminoso Bajo volátil	78	86	14	22			Comúnmente Aglomerante
	2. Bituminoso Medio volátil	69	78	22	31			
	3. Bituminoso Alto volátil A		69	31		7780 ^{b)}		
	4. Bituminoso Alto volátil B					7220	7780	
	5. Bituminoso Alto volátil C					6380 5830	7220 6380	Aglomerante
Sub-bituminoso	1. Sub bituminoso A					5830	6380	No Aglomerante
	2. Sub bituminoso B					5280	5830	
	3. Sub bituminoso C					4610	5280	
Lignit	1. Lignito A					3500	4610	No Aglomerante
	2. Lignito b						3500	

Por esto es necesario, para la clasificación del carbón por rangos, calcular el carbono fijo y materia volátil en base libre de materia mineral (dry, Mm-free), y el poder calorífico en base húmeda libre de materia mineral de acuerdo con las fórmulas de Parr.

1. $FC(d, Mm-free) = 100 (FC - 0.155 S) / [100 - (M + 1.08A + 0.55 S)]$
2. $VM(d, Mm-free) = 100 - FC$
3. $Btu / lb (Moist, Mm-free) = 100 (Btu / lb - 50 S) / [(100 - (1.08A + 0.55 S))]$
4. $Btu / lb = 1.8 * Kcal / Kg$

Donde:

(d, Mm-free): Seca, libre de materia mineral (Slmm)

(Moist, Mm-free): Húmeda, libre de materia mineral (Hlmm)

FC: Carbono fijo

VM: Materia volátil

S: Azufre

M: Humedad residual

A: Cenizas

Tabla 7. Clasificación ASTM de las muestras de carbón. Fuente: Autor.

IDENTIFICACIÓN	CARBON O FIJO % Slm.m	MATERIA VOLÁTIL % Slm.m	PODER CALORÍFICO O Btu/lb hlmm	PODER CALORÍFICO O Cal/gr hlmm	CLASIFICACIÓN ASTM
Muestra 01	83,9	16,1			1. Bituminoso bajo volátil
Muestra 02	79	21			1. Bituminoso bajo volátil
Muestra 03	66,8	33,2	19971,1	11095,1	3. Bituminoso alto volátil A
Muestra 04	65,8	34,2	15743,4	8746,3	3. Bituminoso alto volátil A
Muestra 05	85	15			1. Bituminoso bajo volátil
Muestra 07	82,1	17,9			1. Bituminoso bajo volátil
Muestra 08	87,2	12,8			3. Semiantracita a
Muestra 09	66,9	33,1	15220,7	8456	3. Bituminoso alto volátil A
Muestra 10	76,6	23,4			2. Bituminoso medio volátil
Muestra 11	76,7	23,3			2. Bituminoso medio volátil

Muestra 12	59,7	40,3	15538,2	8632,3	3. Bituminoso alto volátil A
Muestra 13	63	37	15446	8581,1	3. Bituminoso alto volátil A
Muestra 14	76,5	23,5			2. Bituminoso medio volátil
Muestra 15	82,4	17,6			1. Bituminoso bajo volátil
Muestra 16	83,2	16,8			1. Bituminoso bajo volátil
Muestra 17	77,9	22,1			2. Bituminoso medio volátil
Muestra 18	60,8	39,2	15303,9	8502,2	3. Bituminoso alto volátil A
Muestra 19	76,9	23,1			2. Bituminoso medio volátil
Muestra 20	80,2	19,8			1. Bituminoso bajo volátil
Muestra 21	79,6	20,4			1. Bituminoso bajo volátil
Muestra 22	78,1	21,9			1. Bituminoso bajo volátil
Muestra 23	70,9	29,1			2. Bituminoso medio volátil
Muestra 24	81,6	18,4			1. Bituminoso bajo volátil
Muestra 25	84,1	15,9			1. Bituminoso bajo volátil

EVALUACIÓN DE RECURSOS

Un Recurso Mineral es una concentración u ocurrencia de un material sólido con interés económico, en o sobre la corteza terrestre, de tal forma, cantidad, y calidad, que hay perspectivas razonables para una eventual extracción económica. La ubicación, cantidad, calidad, continuidad y otras características geológicas de un Recurso Mineral son conocidas, estimadas o interpretadas a partir de evidencias y conocimientos geológicos específicos, incluyendo el muestreo. Los Recursos Minerales se subdividen, en orden, de acuerdo al incremento en la confianza geológica, en tres categorías: Inferidos, Indicados y Medidos.

Categorías de los recursos

Recurso Mineral Inferido, es aquella parte de un Recurso Mineral para la cual la cantidad y calidad son estimados sobre muestreos y evidencias geológicas limitadas. La evidencia geológica es suficiente para asumir, pero no para verificar la continuidad geológica, el tenor o la calidad. Tiene un menor nivel de confianza del que se aplica a un Recurso Mineral Indicado, y no debe ser convertido a una Reserva Mineral. Es razonable esperar que la mayor parte de los Recursos Minerales Inferidos puedan convertirse a Recursos Minerales Indicados con la continuación de la exploración.

Recurso Mineral Indicado, es aquella parte de un Recurso Mineral para la cual la cantidad, calidad, densidad, forma y características físicas, son estimadas con suficiente confianza para permitir la aplicación de los Factores Modificadores, para soportar la planeación minera y la evaluación de la viabilidad económica del depósito. La evidencia geológica se deriva de exploración detallada y confiable, ensayos realizados mediante técnicas apropiadas y toma de muestras en afloramientos, apiques, trincheras y perforaciones, suficientes para asumir la continuidad geológica y el tenor o calidad, entre los puntos de observación donde se recolectaron los datos y las muestras. Un Recurso Mineral Indicado tiene un menor nivel de confianza que un Recurso Mineral Medido y sólo puede convertirse en una Reserva Minera Probable.

Recurso Mineral Medido, es aquella parte de un Recurso Mineral para la cual la cantidad, calidad, densidad, forma y características físicas, son estimadas con suficiente confianza para permitir la aplicación de los Factores Modificadores, para soportar la planeación minera detallada y la evaluación final de la viabilidad económica del depósito. La evidencia geológica se deriva de

exploración detallada y confiable, ensayos realizados mediante técnicas apropiadas y toma de muestras en afloramientos, apiques, trincheras y perforaciones, suficientes para confirmar la continuidad geológica y el tenor o la calidad, entre los puntos de observación donde se recolectaron los datos y las muestras. Un Recurso Mineral Medido tiene un nivel de confianza más alto que el que se aplica a un Recurso Mineral Indicado o a un Recurso Mineral Inferido. Puede ser convertido a una Reserva Minera Probada o, bajo ciertas circunstancias, a una Reserva Minera Probable. (Agencia Nacional de Minería, 2017)

Cálculo de recursos

El cálculo fue desarrollado bajo los parámetros establecidos en el Sistema de clasificación de recursos y reservas de Ecocarbón.

Calidad: el contenido de cenizas debe ser inferior al 33% y el de azufre total debe ser inferior al 3% para toda clase de carbón.

Distancia desde los puntos de medición: Las categorías de “medido”, “indicado”, “inferido” e “hipotético” se definen mediante distancias máximas contadas a partir del punto de medición mas cercano. Estos valores se han fijado en 250m, en 750m, en 2250m y >2250m, respectivamente.

Espesor de los mantos de carbón: Se establece el espesor de $\geq 0,40\text{m}$, como valor límite para considerar, dentro de los recursos, los carbones antracíticos, bituminosos y sub-bituminosos; de esta manera, toda capa de carbón de espesor inferior se considera una cinta.

Intercalaciones estériles: se refieren a cualquier roca diferente a carbón, dentro de un manto de carbón. Según el espesor que tengan, serán separables o no. Los esteriles no separables se pueden aceptar siempre y cuando el carbón extraído contenga menos del 33% en peso de cenizas.

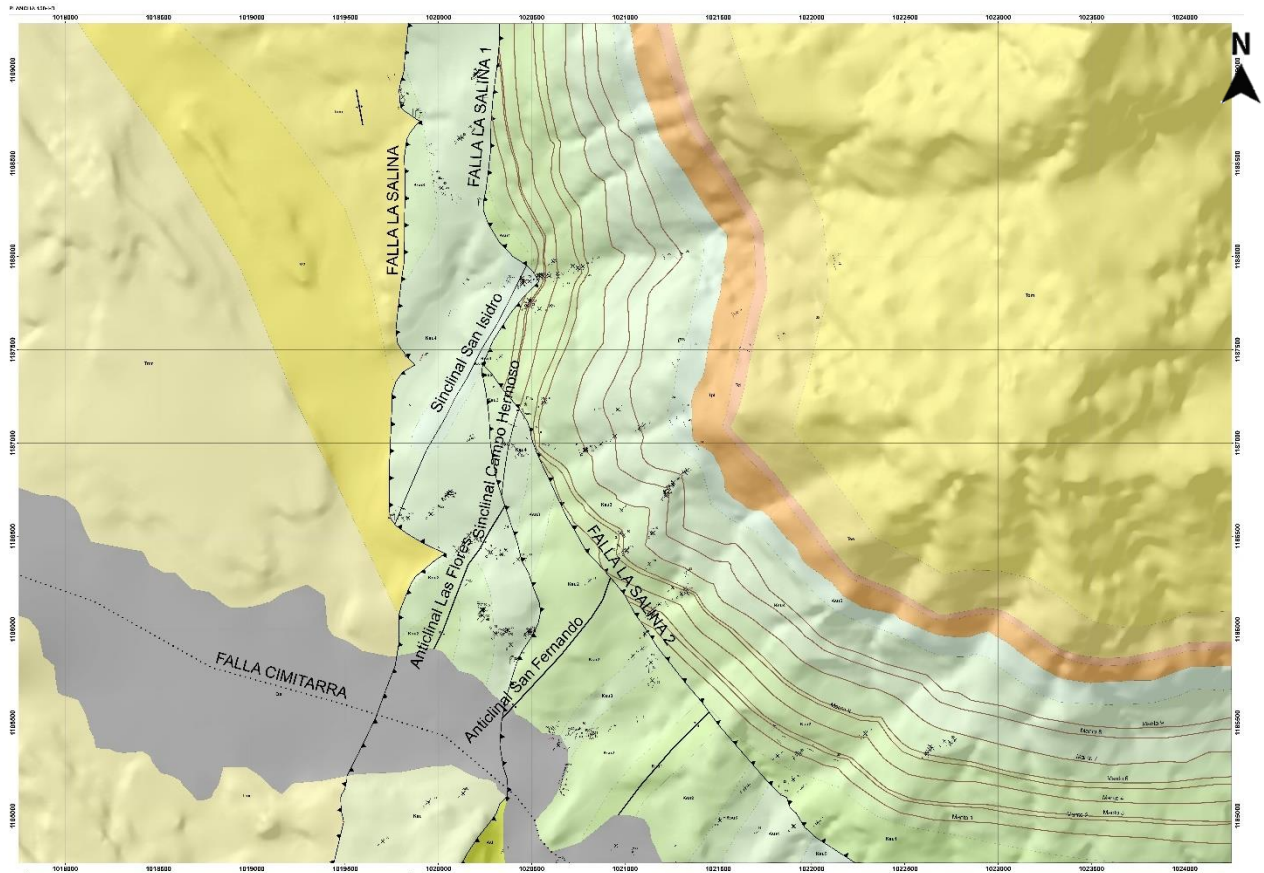


Ilustración 13. Geología del área, y traza de los mantos evaluados. Fuente: Autor

Para el cálculo de los recursos de carbón, es necesario determinar el área carbonífera. La zona de estudio se encuentra afectada por tres fallas, todas estas afectando la formación portadora de carbón, generando en ella pliegues de segundo y tercer orden. Por este motivo se tienen en cuenta los mantos en el bloque de menor afectación para el cálculo de recursos, delimitado por las fallas la Salina 1 y la Salina 2 hacia el occidente.

Tabla 8. Mantos en el área de estudio tenidos en cuenta para el cálculo de recursos. Fuente: Autor.

MANTO	ESPESOR PROMEDIO (m)	CLASIFICACIÓN ASTM
1	2,5	3. Semiantracita a
2	0,64	1. Bituminoso bajo volátil
3	0,65	2. Bituminoso medio volátil
4	1,3	1. Bituminoso bajo volátil
5	1,2	1. Bituminoso bajo volátil
6	0,8	3. Bituminoso alto volátil A
7	0,5	1. Bituminoso bajo volátil
8	0,7	3. Bituminoso alto volátil A
9	0,8	1. Bituminoso bajo volátil

Teniendo las trazas de los distintos mantos se calcula el área proyectada en superficie de los radios de influencia (haciendo uso del software AutoCAD) para cada uno de ellos, la cual es multiplicada por el coseno del ángulo de buzamiento promedio en el área y así se obtiene el área inclinada.

La densidad de los carbones se obtuvo a través de los registros eléctricos del pozo de perforación Landázuri – 1.

Ya teniendo el área, espesor promedio y densidad del carbón, se realiza el cálculo con la siguiente fórmula:

$$a \times e \times d / \cos \varnothing = t$$

Donde:

a: área

e: promedio ponderado del espesor del manto

d: densidad del carbón (gravedad específica verdadera)

Ø: inclinación del manto

t: toneladas

Tabla 9. Cálculo de recursos para los mantos de carbón en el título EK7-151. Fuente: Autor

MANTO	ESPESOR (m)	ÁREA (m ²)	BUZAMIENTO	DENSIDAD	TONELADAS	RECURSOS	TOTAL
1	2,5	42412,3	28	1,3	156113,3	MEDIDOS	40349821,1
		506620,6	18		1731250,3	INDICADOS	
		4335481,5	26		15676911,5	INFERIDOS	
		6190290,2	28		22785546	HIPOTÉTICOS	
2	0,64	183450,1	36	1,3	188661,7	MEDIDOS	10161286,8
		1424093,5	32		1397144,5	INDICADOS	
		6236053,2	28		5876222,2	INFERIDOS	
		3048645,7	20		2699258,4	HIPOTÉTICOS	
3	0,65	242256,4	36	1,3	253031,4	MEDIDOS	10397775,6
		1609447,1	32		1603662,3	INDICADOS	
		6155686,7	30		6006238,6	INFERIDOS	
		2818903,6	20		2534843,3	HIPOTÉTICOS	
4	1,3	109031,9	38	1,3	233834,2	MEDIDOS	19735363,5
		909505,1	35		1876408,3	INDICADOS	
		5059408,4	27		9596338,6	INFERIDOS	
		4464253,1	20		8028782,5	HIPOTÉTICOS	

5	1,2	451151,7	34	1,3	848932,1	MEDIDOS	17179209,7
		1807445,1	30		3255810,3	INDICADOS	
		5624764,2	20		9337768,4	INFERIDOS	
		2250864,4	20		3736698,9	HIPOTÉTICOS	
6	0,8	386646,1	34	1,3	485034,6	MEDIDOS	11410691,7
		1256110,2	30		1508448,4	INDICADOS	
		5752644	24		6548935	INFERIDOS	
		2591630,5	20		2868273,8	HIPOTÉTICOS	
7	0,5	95958	32	1,3	73548,5	MEDIDOS	6566032,7
		605553,2	30		454501,2	INDICADOS	
		4999302,2	22		3504748,7	INFERIDOS	
		3662248,6	20		2533234,3	HIPOTÉTICOS	
8	0,7	221929,2	27	1,3	226660	MEDIDOS	8677383,9
		825531,7	31		876414,5	INDICADOS	
		5329563,3	22		5230788,5	INFERIDOS	
		2419988,2	20		2343520,9	HIPOTÉTICOS	
9	0,8	100316	20	1,3	111024,2	MEDIDOS	9'385.992,5
		640848,2	31		777540,3	INDICADOS	
		5057048,7	21		5633505,7	INFERIDOS	
		2587698,7	20		2863922,3	HIPOTÉTICOS	

Entre los mantos encontrados, se tienen desde semiantracitas hasta bituminosos de alto a bajo volátil, distribuidos como se muestra en la siguiente tabla. Del total de recursos de carbón encontrados, el 30% son de semiantracita, 47% de bituminoso bajo volátil, 8% de bituminoso medio volátil y 15% bituminoso alto volátil A.

Tabla 10. Recursos de carbón por rango. Fuente: Autor.

CLASIFICACIÓN ASTM				
Semiantracita a	Bituminoso bajo volátil	Bituminoso medio volátil	Bituminoso alto volátil A	RECURSOS
156.113,3	1'456.000,7	253.031,4	711.694,6	MEDIDOS
1'731.250,3	7'761.404,6	1'603.662,3	2'384.862,9	INDICADOS
15'676.911,5	33'948.583,5	6'006.238,6	11'779.723,4	INFERIDOS
22'785.546	19'861.896,4	2'534.843,3	5'211.794,7	HIPOTÉTICOS
40'349.821,2	63'027.885,2	10'397.775,6	20'088.075,6	TOTAL

Tabla 11. Recursos totales de carbón. Fuente: Autor.

RECURSOS	TONELADAS
MEDIDOS	2'576.840
INDICADOS	13'481.180
INFERIDOS	67'411.457,1
HIPOTÉTICOS	50'394.080,4
TOTAL	133'863.557,6

CONCLUSIONES

- En el título minero EK7-151 afloran las formaciones, de base a techo, La Luna, Umir, Lisama, La Paz, Esmeraldas, Mugrosa, Colorado y Grupo Real. De estas, encontrándose la Formación Umir como unidad portadora de carbón siendo la de mayor interés. Gran parte de la zona se trata del flanco occidental del sinclinal de Armas, el cual se encuentra afectado por tres fallas (de las cuales solo la falla la Salina se encontraba registrada en estudios anteriores) de tipo inversa de alto ángulo con carácter regional, que constituyen el sistema de falla La Salina.

- El área carbonífera, compuesta principalmente por estratos poco competentes se ve fuertemente afectada por las fallas encontrándose pliegues de segundo y tercer orden sobre todo en los bloques yacentes. Lo que restringe el acceso a los recursos de carbón encontrados entre estas fallas.

- En el área de estudio, la formación Umir presenta un espesor total de 972 m, en el cual se pueden diferenciar tres grandes miembros: la parte inferior esta conformada principalmente por arcillolitas carbonosas y limolitas intercaladas con capas tabulares ferruginosas, con estructura boudinage hacia la base, y presencia de cintas y mantos de carbón; hacia la parte media se encuentran capas de limolitas y areniscas muy finas grises en capas medias a gruesas con presencia de estructuras cuneiformes, destacándose en ella 50m de areniscas con adelgazamiento de capas hacia el techo denominada como capa guía ‘La Despensa’; y la parte superior se trata de arcillolitas, limolitas y areniscas intercaladas con limolitas ferruginosas hacia la base, y arcillolitas abigarradas y areniscas muy finas hacia el techo, con presencia de cintas y mantos de carbón.

- Según la clasificación ASTM por rango en el área se encuentran mantos de semiantracita, bituminosos bajo volátiles, bituminosos medio volátiles y bituminosos alto volátiles A. Del total de recursos de carbón encontrados, el 30% son de semiantracita, 47% de bituminoso bajo volátil, 8% de bituminoso medio volátil y 15% bituminoso alto volátil A.

- El manto 1, de rango semiantracita, es el de mayor espesor en el área y representa un 30% del total de recursos. Los mantos 4 y 5 son los carbones bituminosos bajos volátiles más potentes representan un 28% de los recursos totales. Esto genera un mayor interés por los mantos inferiores de la formación carbonífera.
- En el área se encontró un total de recursos de carbón de 133'863.557,55 Toneladas. De los cuales el 2% son medidos, 10% son indicados, 50% inferidos y 38% hipotéticos.

RECOMENDACIONES

- Llevar a cabo labores mineras para el aprovechamiento de los distintos mantos, principalmente los inferiores, en las zonas sur y norte del polígono. Evitando las áreas cercanas a las zonas de falla, ya que se evidenció en la labor minera cambios de espesores allí.
- Realizar nuevos muestreos y análisis de los mantos de carbón ya que existen datos anómalos en cuanto al poder calorífico y el índice de hinchamiento fsi, este último debido a la meteorización. Además de tomar muestras en distintas zonas del polígono para evaluar si existen cambios laterales de la calidad, como también zonas de falla para observar los cambios que pueden provocar en la calidad de los carbones.
- Realizar análisis petrográficos a los distintos mantos de carbón encontrados y así tener una caracterización más detallada de éstos.
- Debido a la tectónica compleja del área, es vital una cantidad y calidad de datos que brinden una mayor certeza geológica y así aumente el interés económico de esta zona.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Nacional de Minería. (2017). *Código colombiano para el reporte público de resultados de exploración, estimación y clasificación de recursos minerales y reservas mineras*.
- Alcaldía municipal de Landázuri. (2002). *Esquema de ordenamiento territorial del municipio de Landázuri, Santander*.
- ASTM. American Society for Testing and Materials. (2012). Standard Classification of Coals by Rank.
- Cortés, V. J. (1978). Carbón. *Carbón*, 1–47.
- ECOCARBON. (1995). Sistema de Clasificación Recursos y Reservas.
- ECOCARBÓN. (1995). Normas generales de muestreo y análisis.
- Gómez, E., Jordan, T. E., Allmendinger, R. W., Hegarty, K., & Kelley, S. (2005). Syntectonic Cenozoic sedimentation in the northern middle Magdalena Valley Basin of Colombia and implications for exhumation of the Northern Andes. *Bulletin of the Geological Society of America*, 117(5–6), 547–569. <https://doi.org/10.1130/B25454.1>
- Gómez, L. A., Lancheros, J. A., López, C., Patiño, A., Beltrán, A., Renzoni, G., ... Quintero, C. (2008). *Cartografía geológica y muestreo geoquímico escala 1:100.000 de la plancha 150 - Cimitarra VMM*.
- Instituto Colombiano de Geología y Minería. (2004). Estándares de Presentación Cartográfica, 1–16.
- Julivert, M. (1961). Las estructuras del valle medio del Magdalena y su significación. *Boletín de Geología (Bucaramanga)*, 6, 33–52.
- Monroy, W. O. (2014). Exploración y evaluación de carbones en el área Cimitarra sur y sur del área río Opón-Landázuri del departamento de Santander.
- Rangel, A., Moldowan, J. M., Nin, C., Parra, P., Ecopetrol, A. R., & Colombiano, I. (2002). Umir

Formation : Organic geochemical and stratigraphic assesment as cosource for Middle Magdalena basin oil, Colombia. *AAPG Bulletin*, 12(12), 2069–2087.

Sarmiento, G., Puentes, E. J., & Sierra, C. (2015a). Estratigrafía y Petrofacies de la Formación La Luna. *Geologia Norandina*, 12(December), 21–40.

Sarmiento, G., Puentes, J., & Sierra, C. (2015b). Evolución Geológica y Estratigrafía del Sector Norte del Valle Medio del Magdalena Evolución Geológica y Estratigrafía del Sector Norte del, (12).

Wikipedia. (26 de Junio de 2016). *Wikipedia*. Obtenido de Wikipedia:

<https://es.wikipedia.org/wiki/Landázuri>



ANEXOS

- Mapa geológico
- Mapa geológico con trazas de los mantos de carbón
- Columna estratigráfica de la formación Umir